Lorenz Hucke

HANDLUNGSREGULATION UND WISSENSERWERB IN TRADITIONELLEN UND COMPUTERGESTÜTZTEN EXPERIMENTEN DES PHYSIKALISCHEN PRAKTIKUMS

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von Februar 1996 bis April 1999 am Lehrstuhl für Didaktik der Physik im Fachbereich Physik der Universität Dortmund angefertigt. Sie wurde im Rahmen des Projekts *'Labwork in Science Education'* von der Europäischen Kommission gefördert (Projekt PL 95 2005).

Ich bedanke mich herzlich bei Professor Dr. Hans E. Fischer für die Überlassung des Themas und für sein stetes Interesse an der Arbeit. Er war jederzeit ansprechbar und offen für die Diskussion von Problemen und Fragestellungen, die sich im Laufe der Arbeit ergaben. Seine Kommentare regten immer wieder mich zur Selbstkritik an und lieferten zahlreiche Anregungen, die viel zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Horst Schecker danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Michaela Horstendahl, Kerstin Haller und Florian Sander gilt mein Dank dafür, dass sie jederzeit bereit waren, auf meine Fragen und Ideen einzugehen. Die langen und fruchtbaren Diskussionen mit ihnen sind in vielfacher Weise in diese Arbeit eingeflossen. Mein herzlicher Dank gilt auch Prof. Dr. Hans Niedderer für sein Interesse an der Arbeit und wertvolle Anregungen.

Bei Dr. Joachim Vogt und Dipl.-Psych. Hartwig Fuhrmann bedanke ich mich herzlich für die Hilfestellung in methodischen Fragen.

Stefan Hees und Gunnar Staniczek danke ich für die Übernahme der Transkripte und die Hilfe bei der Entwicklung der Auswertungsinstrumente, sowie für die zuverlässige und kontinuierliche Zusammenarbeit.

Ich danke Herrn Dr. Siegfried Finke und Herrn Walter Ullrich für die Hilfe bei der Einbindung der Datenerhebung in das physikalische Anfängerpraktikum der Universität Dortmund, sowie für die bereitwillige und hilfreiche Kooperation bei der Ausstattung der Experimente. Mein Dank gilt außerdem allen Studierenden, die sich bereit erklärt haben, an der Untersuchung teilzunehmen.

INHALTSVERZEICHNIS

EMPIRISCHER TEIL

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

TABELLENVERZEICHNIS

EINLEITUNG

Practical work can be used to create the illusion of active and purposeful learning (Osborne 1993, 118).

Das Praktikum unterscheidet sich von allen anderen Unterrichtsformen zum Erlernen von Naturwissenschaften. Beim Experimentieren greifen die Lernenden aktiv in ihre Umwelt ein. Indem sie ihr Wissen über Physik zur Steuerung ihrer Handlungen benutzen, können sie bekannte Gesetzmäßigkeiten überprüfen oder neue Gesetzmäßigkeiten entdecken und verstehen, und damit neues Wissen erwerben. Viele Autoren, darunter OSBORNE (s.o.), sind allerdings der Meinung, dass bestehende Praktika dem Anspruch, das theoretische Wissen der Lernenden mit experimentellen Erfahrungen zu verbinden, nicht gerecht werden.

Mit der vorliegenden Arbeit wird das Verhalten von Studierenden im physikalischen Praktikum einer deutschen Universität empirisch untersucht. Hierfür werden Studierende bei ihrer Praktikumsarbeit beobachtet und ihre Handlungen analysiert. Es wird untersucht, ob die Studierenden durch die Durchführung eines Praktikumsexperiments physikalisches und experimentelles Wissen erwerben, und welcher Zusammenhang zwischen dem Wissenserwerb und den Handlungen im Praktikum besteht.

Neuen Technologien kommt, wenn auch langsamer als es die schnelle Entwicklung der technischen Möglichkeiten erwarten lässt, eine zunehmende Bedeutung in der naturwissenschaftlichen Ausbildung zu. Daher befasst sich diese Arbeit auch mit der Frage, ob ein Computereinsatz geeignet ist, die Bedingungen des Physiklernens im Anfängerpraktikum zu verbessern. Hierfür werden die Handlungen und der Wissenserwerb von Studierenden im traditionellen Praktikum (ohne Computer) mit den Handlungen und dem Wissenserwerb von Studierenden im computergestützten Praktikum verglichen. Dabei wird der Computer zur Messwerterfassung sowie zur Modellbildung und Simulation eingesetzt.

Theoretische Basis der Arbeit bilden konstruktivistische Ansätze der Lernpsychologie. Sie werden mit handlungstheoretischen Konzepten verknüpft, wobei auch die inhaltliche Struktur des physikalischen Praktikums berücksichtigt wird. Die Ergebnisse der Arbeit können als Diskussionsgrundlage für mögliche Verbesserungen der experimentellen Ausbildung dienen. Sie werden durch Ergebnisse weiterer aktueller Untersuchungen zum physikalischen Anfängerpraktikum ergänzt (HALLER 1999, SANDER 1999).

Die Arbeit beginnt mit einer Übersicht über die Ziele, die mit naturwissenschaftlichen Praktika verbunden werden, sowie über den aktuellen Forschungsstand. Anschließend wird auf Befunde zum computergestützten Lernen im Praktikum eingegangen (Kapitel 3). In Kapitel 4 wird der theoretische Rahmen der Untersuchung dargestellt, auf dem der dann folgende empirische Teil der Arbeit aufbaut.

THEORETISCHER TEIL

Kapitel 1

ROLLE UND ZIELE NATURWISSENSCHAFTLICHER PRAKTIKA

1-1 GESCHICHTLICHE ASPEKTE

Es ist plausibel und selbstverständlich, dass beim Lehren von naturwissenschaftlichen Inhalten auf Experimente zurückgegriffen wird, um Phänomene zu veranschaulichen und Lernende dazu anzuregen, Erklärungen zu finden. Dies lässt sich bis zurück in das 17. Jahrhundert verfolgen (vgl. GEE & CLACKSON 1992). Die ersten Praktika finden sich um 1830. Es handelte sich zunächst ausschließlich um Chemie-Laboratorien. Diese lange Tradition der Praktika ist eng mit der gesellschaftlichen Rolle der naturwissenschaftlichen Ausbildung an Schulen und Hochschulen verknüpft, der im Zuge der Industrialisierung und Technisierung eine immer größere Bedeutung zukam. NOTT (1997) beschreibt, wie Ende des letzten Jahrhunderts in England mit der Entwicklung der Wissenschaft zum gesellschaftlich anerkannten Berufsbild auch die Praktika zum Standardinstrument der naturwissenschaftlichen Ausbildung wurden. Dies war notwendig, um den wissenschaftlichen Nachwuchs möglichst gut auf den späteren Beruf vorzubereiten. Zudem kam den Praktika schon damals auch eine wichtige Symbolfunktion zu:

The school laboratory was a space imposed by professional academic science, to declare the status of science, rather than a space appropriate for teaching and learning science (NOTT 1997, 54).

In England wusste Ende des 19. Jahrhunderts H.E. Armstrong, ein einflussreicher Chemiker, die entsprechenden staatlichen Kommissionen von seiner Unterrichtsmethode, dem *heurism*, zu überzeugen. Seine zentrale Idee war, dass Schüler Experimente eigenhändig durchführen sollten, um sich wissenschaftliche Prinzipien und Methoden anzueignen. Dabei plädierte er nicht für fest eingerichtete Laboratorien, sondern für variable, mit einfachen Geräten ausgestattete Räume, von denen er sich einen effektiven, lernerorientierten Unterricht versprach.

Die Bedeutung und Notwendigkeit eines praktisch-experimentellen Anteils an der Ausbildung für das Erlernen einer naturwissenschaftlichen Disziplin wird heute von niemandem bestritten. An Praktika werden sogar hohe Erwartungen geknüpft. Sie sind ein fester und zentraler Bestandteil aller naturwissenschaftlichen Lehrpläne und Studiengänge, und das wohl in allen Ländern der Welt. Unter Praktikum ist dabei eine Form von praktischer Arbeit zu verstehen, bei der Studierende oder Schüler Experimente in einer speziell dafür vorbereiteten Lernumgebung durchführen, sich mit Geräten und Materialien beschäftigen, naturwissenschaftliche Phänomene beobachten und verstehen lernen und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen erlernen können (HEGARTY-HAZEL 1990). Nach LAZAROWITZ und TAMIR (1994) wird das Praktikum als unerlässliche Komponente naturwissenschaftlichen Unterrichts angesehen, da es

- konkrete Erfahrungen vermittelt und Gelegenheit bietet, Misskonzepte zu erkennen und auszuräumen,
- Gelegenheit bietet, neben organisatorischen und denkerischen auch fachspezifische experimentelle und manipulative Fähigkeiten zu entwickeln,
- erlaubt, den Umgang mit Messwerten zu üben und sich sowohl allgemeine wissenschaftliche Werte wie Vertrauen in die Messung, Verantwortung, usw., als auch wissenschaftliche Handlungsmuster wie Kollaboration, Interpretation, usw. anzueignen,
- das Wesen und die Vorgehensweise der Naturwissenschaften widerspiegelt und vermittelt,
- sowie durch in Eigeninitiative lösbare Probleme Motivation und Interesse fördert.

Viele Befunde belegen, dass Praktika sich förderlich auf die Lernentwicklung und die Einstellung von Lernenden auswirken können. In einer neueren Untersuchung etwa findet FREEDMAN (1997), dass Schüler, die während eines Schuljahres einmal in der Woche selber experimentieren, bessere Leistungen in Physik erzielen und eine positivere Einstellung zu Naturwissenschaften zeigen, als Schüler, die ohne Praktikum unterrichtet werden.

Evaluation von Praktika

Die begleitende Untersuchung bestehender Experimentierformen begann früh (vgl. etwa HORTON 1929), wenn auch bis in die heutige Zeit im wesentlichen auf den englischsprachigen Raum beschränkt. Bereits in den 30er-Jahren wurde in England erstmalig darüber diskutiert, was denn nun eigentlich mit den Praktika und Laboratorien erreicht werden solle und ob der große Zeit- und Materialaufwand wirklich gerechtfertigt sei. Offenbar hatte sich damals schon, ganz im Gegensatz zu den ursprünglichen Absichten, eine Tendenz eingestellt, in den Praktika hauptsächlich Messungen durchzuführen und sich auf das Einüben experimenteller Techniken zu beschränken (WOOLNOUGH & ALLSOP 1985).

Diese Fragen sind heute keinesfalls ausdiskutiert (so fragt etwa PICKERING 1980, 1: „Are lab courses a waste of time?“). Vielmehr werden sie seit Ende der 70er-Jahre verstärkt aufgegriffen, was sich international in zahlreichen Studien und Veröffentlichungen zu diesem Thema wiederspiegelt. Dies mag einerseits daran liegen, dass Ausbildungssysteme sich wenig verändern oder resistent gegen Berührung durch solche Diskussionen sind. Am klassischen Ablauf des physikalischen Anfängerpraktikums etwa hat sich an den meisten deutschen Universitäten in den letzten 50 Jahren praktisch nichts geändert (DIEMER et al. 1998). Andererseits legt es die seit Anfang der 70er-Jahre stattfindende Übertragung lern- und kognitionspsychologischer Erkenntnisse auf fachdidaktische Problemfelder nahe, manche Fragen neu zu stellen. Da sich im gleichen Zuge eine an Kriterien der empirischen Sozialforschung orientierte fachdidaktische Forschung entwickelte, liegen heute empirische Befunde vor, die eine neue Diskussionsgrundlage für die Verbesserung der naturwissenschaftlichen Ausbildung - und der Praktika - schaffen.

1-2 ZIELE VON PRAKTIKA

Die Ziele, die mit naturwissenschaftlichen Praktika erreicht werden sollen, sind immer wieder ausführlich erfasst und diskutiert worden (z.B. KERR 1963; KLOPFER 1971; BOUD et al. 1980; HELLINGMANN 1982; BOUD et al. 1988; HEGARTY-HAZEL 1990; WELZEL et al. 1998; DIEMER et al. 1998). Dabei ist festzustellen, dass über die Hauptziele der Durchführung von Praktika seit nunmehr über 35 Jahren ein großer Konsens besteht, der sich durch alle Veröffentlichungen zieht (HODSON 1998a).

Nach DIEMER et al. (1998, 11) sind die beiden Hauptziele eines Praktikums unverändert „das Messen physikalischer Größen erlernen“ und „die Vertiefung des Stoffes der Vorlesungen durch praktische Anwendung“. Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer neueren Umfrage von WELZEL et al. (1998). Darin werden Ziele des Praktikums unter Lehrenden an Universitäten und Schulen in sechs europäischen Ländern erhoben. Es ergeben sich fünf Hauptkategorien von Zielen, die mit den in der Literatur genannten Zielen übereinstimmen:

- Die Verbindung von Theorie und Praxis
- Der Erwerb experimenteller Fähigkeiten
- Das Kennenlernen der Methoden wissenschaftlichen Denkens
- Motivation und persönliche Weiterentwicklung
- Die Überprüfung des Wissens der Lernenden

Die ersten drei Nennungen werden dabei als etwa gleich wichtig eingeschätzt. Die länder-, fach- und niveauspezifischen Unterschiede sind gering. Allerdings ist das Erlernen experimenteller Fähigkeiten an Hochschulen offenbar wichtiger als an Schulen. Das insgesamt am häufigsten genannte Einzelziel des naturwissenschaftlichen Praktikums ist „aufmerksames Beobachten lernen“.

Die Ziele des naturwissenschaftlichen Praktikums, die je nach Autor, nach Fach und nach Alter der Lerner immer leicht verschieden formuliert sind, lassen sich mit WELLINGTON (1998) in drei wesentliche Bereiche gliedern:

Kognitiver Bereich

Praktika sollen helfen, das Verständnis sowohl von Wissenschaft als auch von fachlichen Konzepten zu verbessern. Indem Gesetze und Theorien praktische Anwendung finden, werden sie veranschaulicht oder bestätigt, und die Bildung neuer Konzepte wird unterstützt.

Affektiver Bereich

Praktika sollen motivieren. Durch aufregende Ergebnisse und Erfahrungen wird Interesse und Enthusiasmus geweckt. An solche Erlebnisse können sich Lerner gut erinnern, und die Einstellung zu Naturwissenschaften wird positiv beeinflusst.

Auf Fertigkeiten (skills) bezogener Bereich

Mit Praktika sollen manipulative und methodische Fertigkeiten geschult werden. Dabei werden auch „höhere" experimentelle Fähigkeiten (*inquiry skills*) gefördert wie Fragestellungen zu entwickeln, Vorhersagen zu treffen, Daten zu analysieren und Schlüsse zu ziehen.

Ziele des physikalischen Anfängerpraktikums

Eine für das physikalische Anfängerpraktikum an Hochschulen relevante Aufstellung von Zielen, die sich ebenfalls diesen Bereichen zuordnen lassen, nimmt die AAPT (American Association of Physics Teachers, 1998) vor (Abb. 1.1).

Summary of Introductory Physics Laboratory Goals

(A detailed discussion of these goals is printed below)

I. **The Art of Experimentation:** The introductory laboratory should engage each student in significant experiences with experimental processes, including some experience designing investigations.

II. **Experimental and Analytical Skills:** The laboratory should help the student develop a broad array of basic skills and tools of experimental physics and data analysis.

III. **Conceptual Learning:** The laboratory should help students master basic physics concepts.

IV. **Understanding the Basis of Knowledge in Physics:** The laboratory should help students to understand the role of direct observation in physics and to distinguish between inferences based on theory and on the outcomes of experiments.

V. **Developing Collaborative Learning Skills:** The laboratory should help students develop collaborative learning skills that are vital to success in many lifelong endeavors.

Many of the goals are not explicit in traditional laboratory programs. However, the American Association of Physics Teachers believes that laboratory programs should be designed with these five fundamental goals in mind.

Abbildung 1.1: Ziele für das Physikalische Anfängerpraktikum. (Quelle: American Journal of Physics, 1998, Heft 6, S. 483).

In dieser Zielaufstellung wird dem affektiven Bereich keine besondere Bedeutung beigemessen. Auch eine Zielaufstellung für das physikalische Anfängerpraktikum von DIEMER et al. (1998) beschränkt sich auf den kognitiven Bereich. Dies zeigt, dass im Falle von Hochschulpraktika davon ausgegangen wird, dass die Studierenden ausreichend motiviert sind, wie ja offenbar ihre Studienwahl belegt. In Abbildung 1.1 ist neben dem kognitiven Bereich, der das konzeptuelle Lernen und die Verbindung von Theorie und Praxis betrifft, auch der Bereich der experimentellen und analytischen Fertigkeiten von Bedeutung. Außerdem kommt gegenüber der Einteilung von WELLINGTON (1998) (s.o.) ein weiterer Aspekt hinzu (*Developing Collaborative Learning Skills*), der die „klassischen" Praktikums-Ziele um den Aspekt des sozialen Lernens und des gemeinsamen Lösens von Problemen ergänzt. Es wird so auf aktuelle Erhebungen reagiert, die zeigen, dass die Teamfähigkeit und das kooperative Problemlösen während des gesamten späteren Berufslebens von Physikern eine äußerst wichtige Rolle spielt (AAPT 1998).

Zeitgemäße Entwicklungen

Daran lässt sich erkennen, dass Praktika auch heute noch eine große Bedeutung bei der Ausbildung von Physikern zukommt, und dass Bemühungen stattfinden, durch Anpassung von Zielsetzungen und Gestaltung von Lernbedingungen dieser Tatsache gerecht zu werden. Deutlich wird dies auch an der aktuellen Scientific-Literacy-Debatte (z.B. GOTT & DUGGAN 1996; FISCHER 1998) und - in Deutschland - an Bemühungen von Regierungsseite, Ergebnisse neuerer Untersuchungen in den Experimentalunterricht an Schulen einfließen zu lassen (BLK 1997). Auch andere Untersuchungen beschäftigen sich mit einer neuen Ausrichtung der experimentellen Ausbildung, um sie an moderne gesellschaftliche Bedürfnisse und Anforderungen anpassen. So wird etwa versucht, Praktika und ihre Ziele auf die zunehmende Bedeutung der Computertechnik und die dadurch entstehenden Möglichkeiten abzustimmen (z.B. PRESTON & GOOD 1996; DIEMER et al. 1998) oder projekt- und kontextbezogen auszurichten (z.B. HELMS 1998; HODSON 1998b), um ein realistischeres wissenschaftliches Vorgehen zu vermitteln. Die Frage bleibt, ob die experimentelle physikalische Ausbildung an der Universität von derartigen Entwicklungen profitieren wird.

Kapitel 2

ZUR EFFEKTIVITÄT VON PRAKTIKA - STAND DER FORSCHUNG

2-1 EFFEKTIVITÄT TRADITIONELLER PRAKTIKA

Im letzten Kapitel wurde festgestellt, dass bezüglich der wichtigsten Zielbereiche naturwissenschaftlicher Praktika große Übereinstimmung besteht, dass aber seit etwa 25 Jahren verstärkt hinterfragt wird, inwieweit Praktika den an sie gestellten Ansprüchen wirklich gerecht werden. Betrachtet man die Literatur zu Forschungen über die Effektivität von und das Lernen in Praktika, so fällt zunächst auf, dass es wenige bis keine Veröffentlichungen über die Auswirkungen von Praktika im affektiven Bereich gibt. Das mag daher rühren, dass die Untersuchung motivationaler Aspekte beim Erlernen von Naturwissenschaften nur langsam Bedeutung erlangt und sich in empirischen Studien niederschlägt (vgl. FISCHER & HORSTENDAHL 1998). Andererseits liegt eine Fülle von Veröffentlichungen vor, die sich kritisch mit dem Erreichen von Zielen im kognitiven Bereich befassen. Dabei geht es hauptsächlich um die Verbindung von Theorie und Praxis und um experimentelle Fähigkeiten im Sinne wissenschaftlichen Vorgehens (Fragestellungen entwickeln, Hypothesen formulieren, Zusammenhänge hinterfragen).

To many students, a lab means manipulating equipment and not manipulating ideas (LUNETTA 1998, 250; siehe auch GUNSTONE 1991).

In diesem Zitat spiegelt sich ein wesentliches Ergebnis von Forschungen wider, die sich mit Praktika in der naturwissenschaftlichen Ausbildung auseinandersetzen. Einerseits werden die Lernenden, deren Bedürfnisse lange Zeit bei der Planung von Praktika unberücksichtigt geblieben sind, in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Andererseits wird auf die Diskrepanz zwischen den Ansprüchen aufmerksam gemacht, die Lehrende oft an Praktika stellen, und dem, was von den Studierenden erlebt und erreicht wird. Denn das Umgehen mit und Anwenden von physikalischen Konzepten (*ideas*) ist, wie aus Kapitel 1 deutlich wird, einer der Hauptansprüche an physikalische Praktika.

Angeleitetes Experimentieren und fehlende inhaltliche Auseinandersetzungen

Viele Befunde weisen darauf hin, dass traditionell durchgeführte Praktika die postulierten Ziele nur unvollkommen erreichen (vgl. HOFSTEIN & LUNETTA 1982; TOOTHACKER 1983; TOBIN 1990; WHITE 1996). Hinweise auf die Ursachen solcher Diskrepanzen lassen sich schon bei der Analyse von Praktikumsanleitungen finden. Es zeigt sich, dass diese meist äußerst umfassend sind und die durchzuführenden Arbeiten Schritt für Schritt vorgeben (TAMIR & LUNETTA 1981; FUHRMANN et al. 1982; LUMPE & SCHARMANN 1991; GERMANN et al. 1996). Auch die Anleitungen des physikalischen Praktikums an deutschen Hochschulen sind in der Regel so aufgebaut (DIEMER et al. 1998).

Es wird immer wieder kritisiert, dass die Lerner bei dieser Form des Praktikums kaum zur Diskussion und zum Testen eigener Hypothesen angeregt werden, sondern dass sie den Anleitungen wie einem Kochbuch folgen müssen (z.B. GALLAGHER & TOBIN 1987; CLOUGH & CLARK 1994; GUILLON 1995). Dadurch findet die Handlung auf einer rein ergebnisorientierten Ebene statt und beschränkt sich auf das Abarbeiten vorgegebener Arbeitsschritte. Der relevante physikalische Inhalt der Experimente und eigene Fehlvorstellungen werden dabei nur selten erkannt (LUNETTA 1998). Auch der Erwerb experimenteller Fähigkeiten wird nicht gefördert. Das belegen Untersuchungen, in denen das Verhalten der Lernenden beobachtet und analysiert wird. OKEBUKOLA (1985) untersucht die Abhängigkeit des Lernerfolgs bezüglich experimenteller Fähigkeiten (*practical skills*) von der Dauer bestimmter Tätigkeiten von Schülern im Biologie-Praktikum. Die Ergebnisse zeigen, dass die Schüler im Praktikum auf Erklärungen des Lehrers hören und Anleitungen abarbeiten, statt Tätigkeiten auszuüben, bei denen die experimentellen Fähigkeiten trainiert werden. Andere, ähnlich angelegte Untersuchungen belegen, dass häufig nur ein geringer Anteil der Praktikumszeit darauf verwandt wird, zu „forschen". Zum Teil verbringen die Lernenden mehr Zeit mit Lesen oder dem Aufschreiben von Daten als mit Tätigkeiten, die die Auseinandersetzung mit fachlichen Konzepten fördern oder verlangen (KYLE et al. 1979; OGUNNIYI 1983).

NAKHLEH und KRAJCIK (1994) weisen darauf hin, dass ein Praktikumsexperiment eine sehr komplexe Lernumgebung darstellt. Lerner sind möglicherweise so mit organisatorischen Tätigkeiten beschäftigt, dass keine Gelegenheit für inhaltliche Auseinandersetzungen bleibt. NAKHLEH (1994) spricht daher von einer Barriere, die zwischen dem Kennenlernen von fachlichen Konzepten etwa in Vorlesungen und der Anwendung derselben auf die im Praktikum beobachteten Phänomene liegt. BÉCU-ROBINAULT (1997) findet, dass Schüler bei der Durchführung von Versuchen zum Themenbereich Energie kaum physikalische Theorieelemente mit experimentellen Ereignissen verbinden. Das weist darauf hin, dass der Transfer von konzeptuellen Elementen in eine experimentelle Situation für Schüler schwierig ist. Offenbar ist die Anwendung physikalisch-theoretischen Wissens beim Experimentieren eine kognitive Leistung, die von Lernenden nicht ohne weiteres erbracht wird (vgl. FISCHER 1994, HORSTENDAHL 1999).

Verbesserungsansätze

HODSON (1990) schließt aus einer Analyse mehrerer empirischer Untersuchungen, dass, nach den bisherigen Forschungsergebnissen, Praktika in Bezug auf das Erlernen fachlicher Inhalte und wissenschaftlicher Arbeitsweisen anderen Lehrmethoden nicht überlegen sind. Die beschriebenen offenkundigen Mängel veranlassen WHITE (1996, 768) zu der Fragestellung:

Educationists need to consider the situation carefully: is our faith in laboratories misplaced and our theory about their value incorrect, or is practice poor?

Demgemäß lassen sich in der Literatur zwei argumentative Stränge erkennen, in denen versucht wird, den eher frustrierenden Ergebnissen bezüglich der Effektivität von Praktika Rechnung zu tragen. Auf der einen Seite wird die Frage nach den Möglichkeiten von Praktika neu gestellt. Insbesondere wird gefordert, die experimentelle Ausbildung stärker an den mit ihr verknüpften Erwartungen auszurichten. Auf der anderen Seite führen moderne konstruktivistische und sozial-konstruktivistische Forschungsansätze dazu, dass über neue Gestaltungsformen von Praktika nachgedacht wird, um die postulierten Ziele zu erreichen.

2-2 AUSRICHTUNG VON PRAKTIKA AN ZIELEN

WHITE (1996) vermutet, dass Praktika deshalb so populär sind, weil leicht vorstellbar ist, dass mit ihnen sehr viele Ziele einer naturwissenschaftlichen Ausbildung erreicht werden können. Sie passen daher, unabhängig von gesellschaftlichen und zeitlichen Strömungen, immer gut in die Vorstellungen aller möglichen Interessengruppen. Häufig beschränken sich Praktika allerdings darauf, zu unterrichten, wie man Anleitungen folgt. Hierfür, wie auch für die Instruktion rein experimenteller und manipulativer Fähigkeiten, gibt es aber weit effizientere und billigere Unterrichtsmethoden.

Sind die Erwartungen an Praktika gerechtfertigt?

Bereits WOOLNOUGH (1983, 1985) plädiert deshalb dafür, sich von vielen üblichen Erwartungen an das Praktikum zu verabschieden, insbesondere davon, dass das Praktikum Einfluss auf theoretische Konzepte von Lernern habe. Er formuliert in einem neuen Ansatz drei konkrete Ziele für Praktika die er mit den zugehörigen Experimentierformen verknüpft: (1) Übungen (*exercises*), um spezifische praktische Fertigkeiten zu trainieren, (2) Forschungsaufgaben (*investigations*), um Problemlösen durch wissenschaftliche Herangehensweisen zu erlernen, und (3) Erfahrungsexperimente (*experiences*), um ein Gefühl für naturwissenschaftliche Phänomene zu gewinnen. Auch KIRSCHNER und HUISMAN (1996) sind der Meinung, dass Praktika nicht dazu beitragen, theoretische Inhalte zu vertiefen und möchten sie klar auf diese drei Ziele hin ausgerichtet sehen. Sie machen diesbezüglich, und um die Kosten traditionell ausgestatteter Praktika zu reduzieren, Vorschläge für ein auf Multimedia-Technologie basierendes, computergestütztes Praktikum.

WILSON und STENSVOLD (1993) unterstreichen, dass der Konsens über die wichtigsten Ziele nicht dazu führen darf, dass alle Praktika bzw. Experimente gleich gestaltet sind.

Im Gegensatz zu WOOLNOUGH (s.o.) halten sie an der Bedeutung des Experimentierens für die Entwicklung theoretischer Konzepte fest und entwerfen drei Typen von Praktikumsaktivitäten, die jeweils an bestimmte zu erzielende Ergebnisse geknüpft sind: (1) Aktivitäten, die dazu dienen, in spezifischem Kontext erworbene Konzepte zu generalisieren, (2) Aktivitäten, die dazu dienen, Misskonzepte aufzulösen, und (3) Aktivitäten, die dazu dienen, vorhandene Konzepte zu bestätigen.

OSBORNE (1998) hingegen schlägt sogar vor, auf Praktika auf Schulniveau weitgehend zu verzichten. Seiner Meinung nach wird das Ziel, Naturwissenschaft zu verstehen, durch diskursorientierten Unterricht eher erreicht. So weit geht LUNETTA (1998) nicht, aber auch er plädiert dafür, nicht einfach eine große Zahl von Versuchen abzuarbeiten. Vielmehr sollten wenige Experimente oder Projekte gründlich und ausführlich behandelt werden, um das Verstehen naturwissenschaftlicher Konzepte zu fördern.

WILSON und STENSVOLD (1993, 427) fassen alle diese Ansätze zusammen:

Evaluation of labs should not be an issue of „good or bad", nor a question of inquiry vs. cookbook, but rather an assessment in terms of intended outcomes. Various types of content should be matched with appropriate outcome classes.

2-3 DER EINFLUSS KONSTRUKTIVISTISCHER LERNTHEORIEN

Die Beobachtung, dass das traditionelle Praktikum im wesentlichen aus der Präsentation von Fakten, ergänzt durch bestätigende, detailliert angeleitete Experimente, besteht, bezeugt nach DRIVER und NEWTON (1997) einen positivistischen Blick auf die Naturwissenschaft. Von Lernenden gewonnene experimentelle Daten führen unabänderlich zu einem als Wahrheit betrachteten Ergebnis, wobei die Reproduktion des Ergebnisses als das eigentliche Ziel der Praktikumsarbeit erscheint. In der konstruktivistischen Sichtweise stehen dagegen die subjektiven Erfahrungen und Konzepte der Lernenden, und damit die Weiterentwicklung ihrer Wissensstrukturen, im Mittelpunkt (siehe auch Kapitel 4).

Diskursorientierung

In neueren Ansätzen spielt daher die Kommunikation unter den Lernenden und mit der Lehrperson eine besondere Rolle. Danach kann nur im Diskurs erfahren werden, wie in einer Gruppe von Forschern Konsens erreicht und die Validität von Daten gesichert wird (DRIVER 1995). DRIVER und NEWTON (1997) entwickeln ein Konzept zur Verbesserung der experimentellen naturwissenschaftlichen Ausbildung, das den wissenschaftlichen Diskurs in den Vordergrund rückt. Hier überschneiden sich also aus lern- und erkenntnistheoretischen Überlegungen hervorgehende Ansätze zur innovativen Gestaltung von Praktika mit Ansätzen wie sie aus aktuellen gesellschaftlichen Diskussionen und Entwicklungen hervorgehen (vgl. Kapitel 1, FISCHER 1998).

Offenere Lernumgebungen

Eine weitere Konsequenz der konstruktivistischen Perspektive ist die Öffnung der bisher meist durch engschrittige Anleitungen charakterisierten Praktikums-Lernumgebungen. Dies bedeutet, dass die Lernenden mehr Gelegenheit haben, eigenen Fragestellungen nachzugehen. Sie können ihre Handlungen selbstständig organisieren statt von außen vorgegebene Schritte abzuarbeiten. Konkret bezogen auf Praktika liegen hierzu nur wenige empirische Ergebnisse vor. WESTBROOK und ROGERS (1996) zeigen anhand der Analyse von Concept Maps, dass Schüler besonders dann ihre Konzepte über den Auftrieb von Körpern verändern, wenn sie selbst den Untersuchungsgegenstand auswählen, Hypothesen aufstellen und testen, und Schlüsse aus den Ergebnissen ziehen. ROTH (1994) beschreibt, wie Schüler in einem offen gehaltenen Physikpraktikum erfolgreich experimentieren. Dabei stellt ROTH fest, dass eine bemerkenswerte Bereitschaft der Studierenden vorhanden ist, selbst Fragestellungen zu erarbeiten und adäquate Versuchsaufbauten zu entwickeln.

Dies entspricht auch unseren eigenen Beobachtungen im Physikstudium und wird durch eine Umfrage von RUICKOLDT (1996) unter 143 ehemaligen Studierenden der Physik – dem bisher einzigen empirischen Befund zum physikalischen Praktikum an deutschen Hochschulen – gestützt. Dabei sind mehr Selbstständigkeit und Eigeninitiative die am häufigsten genannten Wünsche bezüglich einer Verbesserung des Praktikums. Die experimentelle Ausbildung scheint diese Bereitschaft häufig nicht angemessen zu nutzen.

Kapitel 3

COMPUTEREINSATZ IM PRAKTIKUM

3-1 ALLGEMEINE ASPEKTE DES COMPUTEREINSATZES

Moderne Technologien werden als vielversprechende Möglichkeit gesehen, das naturwissenschaftliche Praktikum effizienter zu gestalten. Das Einsatzspektrum des Computers reicht dabei von reiner Messwerterfassung über die graphische und bildliche Visualisierung von Modellen und Prozessen bis hin zu vollständig multimedial aufbereiteten Experimenten oder virtuellen Lernumgebungen. Aus einer Umfrage von GIRWIDZ (1994) unter etwa 500 Studienanfängern geht hervor, dass ein großer Teil der Befragten den Einsatz des Computers im Praktikum erwartet. JODL und BASER (1996) stellen mit einer anderen Umfrage allerdings fest, dass der Computer noch kaum Eingang in das physikalische Anfängerpraktikum an (west-)deutschen Universitäten gefunden hat. Vielmehr beschränkt sich dieser Teil der Ausbildung auf die seit Jahrzehnten genutzten Methoden. Computer werden hauptsächlich zur technischen Aufrüstung bestehender Experimente (DIEMER et al. 1998) eingesetzt. Vor dem Hintergrund der Diskussion um die sinnvolle Gestaltung von Praktika (siehe Kapitel 2) liegt es nahe, sich mit solchen Formen des Computereinsatzes zu befassen, die Lernprozesse unterstützen und/oder neue Zugänge zu physikalischen Inhalten ermöglichen:

It is not technology in itself that causes knowledge acquisition but the active engagement of students in tackling scientific problems (SCHECKER 1998, 387).

Ein fachdidaktischer Rahmen

Während frühere Studien sich hauptsächlich mit den Auswirkungen einzelner Computeranwendungen auf das naturwissenschaftliche Lernen befassen, wird in vielen neueren Veröffentlichungen versucht, den Computereinsatz in einen übergreifenden fachdidaktischen Zusammenhang zu stellen. Als Beispiel dafür kann der Artikel von LINN (1998) gelten. Darin schlägt sie einen didaktischen Rahmen für den Computereinsatz vor, der während eines über 10 Jahre laufenden Forschungsprojekts („*The Computer as* *a Learning Partner“*) an der University of California entwickelt wurde. Die vielfältigen Möglichkeiten des Computers werden hier genutzt, um die Forderungen mehrerer instruktionaler Ansätze (*explanation*, *hands-on*, *social-cultural*) zu integrieren und umzusetzen. LINN stellt vier wesentliche Bereiche des Computereinsatzes heraus:

- Mit geeigneten Modelldarstellungen kann an vorhandene Vorstellungen von Studierenden angeknüpft werden. So können diese ihre eigenen Modelle fortentwickeln. Gleichzeitig wird eine Wissensbasis für weiteres, lebenslanges Lernen gelegt.
- Theoretische Beschreibungen, Problemlöseprozesse und Modelle können auf vielfältige Weise visualisiert werden (*to make thinking visible*). Dadurch erhalten mehr Studierende einen ihren Bedürfnissen entsprechenden Zugang zu naturwissenschaftlichen Konzepten.
- Direktes Feedback veranlasst die Studierenden zur Reflektion, zu Kritik und zur aktiven Gestaltung des eigenen Lernens. In Kombination mit anderen didaktischen Ansätzen (*predict-explain-observe*, *Learning Cycle*) wird so das selbstständige Lernen gefördert.
- Durch die kommunikativen Möglichkeiten des Computers kann der soziale Charakter naturwissenschaftlichen Wissenserwerbs unterstrichen und für effektives Lernen genutzt werden.

Lernpsychologische Aspekte

Dieses Einsatzspektrum des Computers deckt sich mit den Chancen und Möglichkeiten, wie sie sich aus der lern- und kognitionspsychologischen Forschung zum Lernen mit neuen Medien ergeben. MANDL und HRON (1989) etwa unterscheiden vier Dimensionen zur Beurteilung des Lernmediums Computer, die sich auch in der von LINN (1998) eingenommenen fachdidaktischen Perspektive widerspiegeln:

1. *Wissensart und Lernform*: Soll Sachwissen erworben oder sollen bestimmte Fertigkeiten eingeübt werden?
2. *Erfahrungsbezug*: Ermöglicht das Medium den Lernenden eine Verknüpfung der vermittelten Informationen mit dem Vorwissen?
3. *Motivierung*: Erhalten die Lernenden eigenverantwortliche Handlungsmöglichkeiten und Rückmeldungen über ihren Lernerfolg?
4. *Reaktivität*: Inwieweit trägt das Medium durch „Dialog“ zur wechselseitigen Konstruktion von Bedeutung bei?

Letztendlich haben die neuen Medien dazu geführt, dass konstruktivistische Elemente Eingang in die Instruktionspsychologie gefunden haben. In den Ansätzen des „Instruktionalen Designs der zweiten Generation“ (MERRILL 1991) wird eine Balance gesucht zwischen der Instruktion durch Lehrende (vermittelt über ein Medium) und konstruktiver Aktivität der Lernenden. Dabei wird einerseits die Bedeutung von Lernen in Problem- bzw. Handlungszusammenhängen im Sinne einer konstruktivistischen Auffassung betont. Andererseits wird vom Aufbau kognitiver Strukturen bzw. mentaler Modelle durch geeignete Instruktionen im Sinne kognitionstheoretischer Ansätze ausgegangen. Dementsprechend beschreibt KOZMA (1991, 179) mediengestütztes Lernen als "*aktive Zusammenarbeit des Lerners mit dem Medium, um Wissen zu konstruieren*". Je nach Medium wird dann mehr und anders gelernt. Der Computer unterscheidet sich von anderen Medien durch die Möglichkeit, Sachverhalte auf ganz unterschiedliche Weise darzustellen (multiple Repräsentationen; vgl. TERGAN 1997). Lerner können diese Computer-Darstellungen nutzen, um Unterschiede zwischen ihren mentalen Modellen und den vom Computer dargestellten formalen Prinzipien herauszuarbeiten.

In dem von LINN (1998, s.o.) vorgestellten fachdidaktischen Rahmen für den Computereinsatz spielen die computerunterstützte Messwerterfassung in Echtzeit sowie die Möglichkeit zur Modellbildung und Simulation eine zentrale Rolle. Auf diese Formen des Computereinsatzes wird nun näher eingegangen, da sie bei der in den folgenden Kapiteln beschriebenen empirischen Untersuchung im Praktikum eingesetzt werden.

3-2 COMPUTERGESTÜTZTE MESSWERTERFASSUNG

Die Ausstattung eines Praktikumsversuchs mit automatischer Messwerterfassung (MBL, für *Microcomputer Based Laboratory*) kann als grundlegende Form des computergestützten Experimentierens gelten. Typischerweise ist in solchen Experimenten der Computer mit Sensoren zur Erfassung physikalischer Größen wie Temperatur, Kraft, Spannung, etc. verbunden. Er hat also die Funktion eines flexiblen Messinstrumentes (MOKROS & TINKER 1987). Die technischen Möglichkeiten einer solchen Anordnung gehen über die von Standard-Laboratorien hinaus. Sie kann daher Lernenden die Durchführung eigenständiger Untersuchungen ermöglichen oder erleichtern (SCHECKER 1998a).

Forschungsergebnisse zu MBLs

Empirische Untersuchungen zur Wirkung von MBLs im Zusammenhang mit dem Lernen in den Naturwissenschaften wurden bisher fast ausschließlich im englischsprachigen Raum durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass vor allem drei Aspekte sich förderlich auf das Lernen im Praktikum auswirken:

- Die zeitgleiche Darstellung physikalischer Vorgänge in graphischer Form.
- Die Möglichkeit zur sofortigen Weiterbearbeitung der Daten im Computer.
- Der mit der automatisierten Messwertaufnahme verbundene Zeitgewinn.

Wenn der Computer beim Experimentieren zur Datenaufnahme genutzt wird, werden die Lernenden entlastet. Sie sind nicht mehr so sehr mit dem Aufnehmen von Daten oder durch technische Probleme beansprucht. Daher können sie mehr Zeit auf sorgfältigeres Experimentieren und die Auseinandersetzung mit dem physikalischen Hintergrund des Experiments verwenden (FRIEDLER et al. 1990; LAZAROWITZ & TAMIR 1994; BARTON 1998).

THORNTON und SOKOLOFF (1990), sowie REDISH et al. (1997), zeigen, dass der Einsatz von MBL das physikalische Verständnis von Studierenden im Bereich der Kinematik deutlich verbessern kann. Sie führen dies vor allem auf die unmittelbare Verbindung von realen physikalischen Abläufen mit einem abstrakten Symbolsystem zurück. Auch andere Untersuchungen belegen, dass der Einsatz computergestützter Messwerterfassung das physikalische Verständnis von Graphen fördert (MOKROS & TINKER 1987, NACHMIAS & LINN 1987). BRASELL (1987) kann nachweisen, dass dabei der geringen zeitlichen Verzögerung zwischen Phänomen und Computerdarstellung eine entscheidende Rolle zukommt. So entstehende Graphen werden von Schülern als dynamische Relationen verstanden, und nicht als statische Bilder (LINN et al. 1987).

Beim Einsatz von computergestützter Messwerterfassung können außerdem die Zusammenarbeit und Diskussionen gefördert werden (THORNTON & SOKOLOFF 1990). Der Computer wird dabei als zusätzlicher Teilnehmer am Diskurs im Praktikum gesehen. Er bietet den Studierenden Darstellungen an, die interpretiert werden müssen, um Zugang zu den gewonnenen empirischen Daten zu erhalten (KELLY & CRAWFORD 1996). Auch experimentelle Fähigkeiten, wie beobachten oder Vorhersagen zu treffen, können geschult werden (FRIEDLER et al. 1990). Die Interaktivität des Mediums erlaubt den Lernern, eigenständig Hypothesen zu entwickeln und zu überprüfen. Die unmittelbare Verfügbarkeit der Messdaten ermöglicht, dass Ergebnisse direkt im Anschluss an die Messungen ermittelt werden können. Im traditionellen Praktikum lässt sich dagegen eine „Entkopplung" zwischen Experiment und Ergebnisinterpretation nicht vermeiden (REDISH et al. 1997).

NAKLEH und KRAJCIK (1994) untersuchen, ob sich der Einsatz computergestützter Messwerterfassung auf das Verständnis von Schülern zur Säure-Base-Thematik auswirkt. Dazu werden Concept Maps von Schülern, die mit MBL arbeiten, mit Concept Maps von Schülern, die traditionelle Messmethoden einsetzen, verglichen. Die Concept Maps von Schülern der MBL-Gruppe weisen nach der Versuchsdurchführung deutlich mehr richtige und falsche Verbindungen auf als die der anderen Schüler. Offenbar fördert die computergestützte Lernumgebung die Auseinandersetzung mit chemischen Inhalten während des Experimentierens.

Diese Ergebnisse werden von STEIN et al. (1990) allerdings nicht bestätigt. Sie vergleichen das Lernverhalten von Schülern, die ein Praktikumsexperiment zum Thema Wärme mit bzw. ohne MBL durchführen. Die Analyse der Praktikumsberichte zeigt bei den Schülern keine Unterschiede im physikalischen Verständnis. Die Schüler der „traditionellen Gruppe" beschäftigen sich während der Datenaufnahme sogar häufiger mit physikalischen Inhalten als die der MBL-Gruppe. Der Zeitgewinn durch die computergestützte Messwerterfassung scheint weitgehend ungenutzt zu bleiben. Allerdings sind Schüler der „traditionellen Gruppe" auch wesentlich häufiger mit versuchsfremden Dingen beschäftigt (*off-task-behaviour*). Die Autoren konzipieren daraufhin ein Praktikumsexperiment, das die Vorteile beider Lernumgebungen (traditionell und MBL) kombiniert. Bei der Durchführung dieses Experiments setzen sich die Schüler deutlich mehr mit physikalischen Inhalten auseinander und zeigen praktisch kein *off-task-behaviour* mehr.

Dies zeigt, dass die Berücksichtigung von Forschungsergebnissen bei der Entwicklung computergestützter Praktika die Lernergebnisse von Schülern nachweislich verbessern kann (vgl. auch REDISH et al. 1997). Die meisten beschriebenen Untersuchungen beziehen sich allerdings auf Schülerpraktika. Empirische Befunde zum Einsatz computergestützter Messwerterfassung auf Hochschulebene fehlen.

3-3 MODELLBILDUNGSSYSTEME UND SIMULATIONEN

Mit Modellbildungssystemen (MBS) kann die zeitliche Entwicklung von (physikalischen) Systemzuständen modelliert und numerisch berechnet werden. Ein Modell kann dabei auf unterschiedlichen symbolischen Ebenen - durch graphische Symbole oder durch mathematische Symbole - repräsentiert werden. Die Ergebnisse von Simulationsläufen sind in Tabellen und Graphen darstellbar. Durch Eingabe von Randbedingungen kann mit diesem Modell eine reale Situation - etwa ein Praktikumsexperiment - simuliert werden.

Bei einigen Modellbildungssystemen wird auf rein graphischer Ebene mit einem Beziehungsgeflecht von Modellgrößen gearbeitet, während die Übersetzung in den mathematischen Formalismus vom Computer übernommen wird. So werden mathematische Schwierigkeiten vermieden und Lernende können sich auf physikalische Inhalte konzentrieren (SCHECKER 1998). Es wird außerdem möglich, auch nichttriviale physikalische Probleme zu behandeln (NIEDDERER et al. 1991; TINKER 1993). Ein möglicher Nachteil von Modellbildungssystemen besteht allerdings darin, dass die Darstellung des physikalischen Modells mit Hilfe von Flussdiagrammen sich von der üblichen Darstellung der Physik (mit mathematischen Gleichungen) unterscheidet. Dies kann zu konzeptuellen Problemen seitens der Lernenden führen (DOERR 1996).

Aktives Lernen durch Simulieren

Nach VOSNIADOU (1992) und NIEDDERER et al. (1991) können derartige Werkzeuge Lernprozesse fördern, weil sie Lernern erlauben, ihre eigene Wahrnehmung bestimmter Situationen zu explizieren. Anhand der Simulationsergebnisse können sie dann ihre Vorstellungen überdenken und die Situation neu interpretieren und gegebenenfalls verändern. Dieser Prozess kann als ein sich wiederholendes Konstruieren und Überprüfen von Hypothesen beschrieben werden. Dabei wird eine Vielfalt an problemlösenden Fähigkeiten gefordert:

- Die das System charakterisierenden Einflussgrößen müssen erkannt werden.
- Die kausalen Zusammenhänge zwischen Variablen müssen verstanden bzw. definiert werden.
- Die Richtigkeit und interne Konsistenz des konstruierten Modells muss beurteilt werden.
- Die Ergebnisse müssen bezüglich ihrer Plausibilität diskutiert werden.

(vgl. MOAR et al. 1992; DOERR 1997). Für BAGOTT (1998) ist die Aktivität des Lerners das entscheidende Kriterium für die Effektivität eines Simulationswerkzeugs. Dabei können die Gesetze der Lernumgebung entweder fest vorgegeben oder veränderbar sein. GILBERT und BOULTER (1998) unterscheiden daher zwischen zwei Benutzungsmoden: dem Simulieren (*exploratory mode*) und dem Modellieren (*expressive mode*). Im *exploratory mode* arbeiten die Lerner mit einem vorgefertigten Modell, indem sie nur bestimmte Zahlenwerte oder Informationen eingeben, um entsprechende Ergebnisse zu erhalten. Sie lernen dabei, wie sich ein bestimmtes Modell verhält („was ist wenn“-Fragestellung, BAGOTT 1998). Hierzu muss ein Lerner nicht wissen, was das Modell darstellt und wie seine Eingaben verarbeitet werden. Im *expressive mode* dagegen legen die Lernenden selbst fest, welches die Variablen sind und wie sie zusammenhängen.

Anwendung physikalischen Wissens

DOERR (1996) betont, dass beim Einsatz von Modellbildungssystemen dem Zusammenhang zwischen Modell und konzeptuellem Wissen der Lernenden eine wichtige Rolle zukommt. Tatsächlich sprechen Befunde dafür, dass Simulationen geeignet sind, um alternative Vorstellungen von Lernern in Richtung von adäquaten Vorstellungen im Sinne einer naturwissenschaftlichen Disziplin zu verändern (*conceptual change*) (vgl. DOERR 1997; WINDSCHITL & ANDRE 1998). Es wird auch vermutet, dass sich durch die Benutzung von MBS die physikalische Kompetenz von Schülern im begrifflich-qualitativen Bereich verbessert (GERDES & SCHECKER 1997).

Die lernfördernden Eigenschaften von MBS erhalten vor allem im Zusammenhang mit dem physikalischen Praktikum eine große Bedeutung. Durch die Kopplung von Modell und Experiment wenden Lerner ihre theoretischen Konzepte in einem praktischen Kontext an. Modellbildungssysteme können also helfen, nicht nur Dinge sondern auch „Ideen“ zu manipulieren (SCHECKER 1998a). SCHECKER plädiert deshalb dafür, MBL und MBS in einem integrierten Ansatz zu benutzen. Solche Systeme enthalten neben der Möglichkeit zur Messwerterfassung und einem Werkzeug zur Modellbildung und Simulation auch eine Komponente, die der Datenanalyse dient (etwa ein Tabellenkalkulationsprogramm). Die experimentell gewonnen Daten stehen im Computer zur sofortigen Weiterverarbeitung zur Verfügung. Sie können mit dem Ergebnis der Simulation verglichen werden. Dies kann zu einer Modifizierung des Modells oder - wenn die Lerner diese Freiheit haben - des Experiments führen. Hierzu müssen vom Lerner inhaltliche Kriterien entwickelt werden (DOERR 1996).

Kapitel 4

PHYSIKLERNEN IM PRAKTIKUM - VERBINDUNG VON THEORIE UND PRAXIS

4-1 LERN- UND KOGNITIONSPSYCHOLOGISCHE ASPEKTE

Wissenserwerb in einer naturwissenschaftlichen Disziplin bedeutet, Konzepte zu entwickeln, die im Einklang sowohl mit den empirischen Ergebnissen als auch mit dem theoretischen Hintergrund des Faches stehen (KELLY & CRAWFORD 1996). Praktika bieten hierzu eine gute Möglichkeit. Die Lernenden organisieren ihre Handlung in überschaubaren und auf eingegrenzte physikalische Sachverhalte beschränkten Situationen. Dies kann helfen, die Adäquatheit der eigenen Konzepte zu überprüfen und die Korrektur falscher bzw. die Bildung neuer Konzepte unterstützen. Nach LAZAROWITZ & TAMIR (1994) sind geeignete Praktika für die Verknüpfung theoretischer Konzepte mit der Methodik wissenschaftlicher Argumentation und experimenteller Fähigkeiten sogar unbedingt notwendig. Wie in Kapitel 1 gezeigt wurde, ist die Verbindung von Theorie und Praxis eines der Hauptziele physikalischer Praktika. In Kapitel 2 wurden bereits Ansätze zur Gestaltung entsprechender Praktika aufgezeigt. Als theoretische Grundlage für eine empirische Erforschung der Lernbedingungen im Praktikum ist es jedoch nötig zu verstehen, wie praktische Erfahrungen Studierenden helfen können, ihre physikalischen Konzepte zu überprüfen und weiterzuentwickeln.

Lernen als Wissenskonstruktion

Lernen kann durch die Angliederung neuer und die Entwicklung bereits vorhandener Bedeutungselemente beschrieben werden. Dieses Modell der kognitiven Entwicklung geht bereits auf PIAGET (1976) zurück und ist auch Bestandteil moderner kognitionspsychologischer Theorien. Innerhalb der propositionalen Netzwerkansätze spricht man von Wissenserwerb, wenn neue Propositionen mit vorhandenen Propositionen des Wissensnetzwerkes verknüpft werden (SCHEMANN 1995). Unter einer Proposition versteht man dabei eine Aussage, die zwei Variablen (Begriffe) miteinander verknüpft, und deren Wahrheit oder Falschheit sich eindeutig bestimmen lässt.

Einer der besten Prädiktoren für Lernen ist das Vorwissen (JONASSEN & GRABOWSKI 1993). Es beeinflusst auch das Experimentierverhalten (KLAHR & DUNBAR 1988). Dabei kann zwischen verschiedenen Arten des Wissens unterschieden werden. Im Hinblick auf Lern- und Problemlöseprozesse ist die Unterteilung in deklaratives, prozedurales und analoges Wissen üblich (MANDL 1996).

Analoges Wissen dient dazu, bisherige Erfahrungen auf neue Situationen zu übertragen und damit handlungsfähig zu werden. MILLAR (1994), in Anlehnung an SCHANK & ABELSON (1977), beschreibt diesen Prozess (*analogical reasoning*) als Anwendung kognitiver Drehbücher (*scripts*), die auf verschiedenen Abstraktionsebenen stattfinden kann. Es können allgemeine *scripts*, wie z.B. „experimentieren im physikalischen Praktikum“, oder spezifischere *scripts*, wie z.B. „aus einer Wertetabelle einen Graphen zeichnen“, zum Einsatz kommen.

Um in einer gegebenen Situation adäquat zu handeln, wird ferner deklaratives und prozedurales Wissen benötigt. Dabei bezeichnet deklaratives Wissen das Wissen über Fakten und Sachverhalte (*knowing that*). Es kann in Form von (propositionalen) Netzwerken dargestellt werden (vgl. ARBINGER 1991). Die typischen Lernmechanismen bestehen in der Elaboration und der Organisation des deklarativen Wissens. Prozedurales Wissen dagegen ist Regel- oder Anwendungswissen (*knowing how*) und liegt der Ausführung von Tätigkeiten zugrunde. Es wird in der Regel durch eine komplexe Ansammlung von „wenn-dann“-Verknüpfungen (Produktionssysteme) dargestellt und kann nur durch aktive Tätigkeit erlernt werden. MILLAR (1994) beschreibt den Unterschied zwischen beiden Wissensarten mit der Fähigkeit, einerseits die Beschaffenheit eines Knotens erklären zu können (deklaratives Wissen), andererseits den Knoten knüpfen zu können (prozedurales Wissen). Allerdings sind die beiden Aspekte nicht voneinander zu trennen. Prozedurales Wissen kann immer auch als deklaratives Wissen dargestellt werden (OPWIS 1988; OBERAUER 1993; JONASSEN et al. 1993).

Kognitiver Konstruktivismus

Die Auffassung von Lernen als Wissenskonstruktion, ursprünglich in den Theorien der kognitiven Schemata und semantischen Netzwerke (RUMELHART & NORMAN 1978) verankert, ist zentraler Gegenstand des kognitiven Konstruktivismus. Es handelt sich dabei um eine Annahme über die Natur der Erkenntnis, die sowohl der kognitionstheoretischen als auch der konstruktivistischen Sichtweise gerecht wird. Sie wird gegenwärtig von vielen Lernforschern akzeptiert (DERRY 1996). Die konstruktivistische Perspektive dominiert seit mehreren Jahren als Paradigma der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Nach DUIT (1995) hat sie sich in diesem Gebiet als sehr fruchtbar erwiesen und viel zur Weiterentwicklung des Unterrichts beigetragen. Nach der konstruktivistischen Auffassung beruht das gesamte konzeptuelle Verständnis einer Person auf der Basis der vorhandenen Vorstellungen. Wissen ist damit ausschließlich in der Erfahrungswelt des Individuums anzusiedeln (FISCHER 1990). Dabei werden solche Handlungsschemata und Begriffstrukturen aufgebaut, die sich im Laufe der Erfahrung als brauchbar erweisen („Viabilität“ ; GLASERSFELD 1997). Lernen findet statt, wenn Phänomene oder Situationen nicht mehr unter der Zuhilfenahme der vorhandenen Kenntnisse erklärt bzw. bewältigt werden können.

Konzept- und objektbezogenes Handeln

Mit diesen Annahmen beschreibt FISCHER (1994) Lernen als Entwicklung kognitiver Teilsysteme. Teilsysteme (subjektive Erfahrungsbereiche; vgl. BAUERSFELD 1983) sind die Bereiche des kognitiven Systems, die an der Handlungsregulation eines Individuums in einer bestimmten Situation beteiligt sind. In diesem Modell bedeutet Lernen eine Veränderung der inneren Struktur des kognitiven Systems. Sie ist mehr oder weniger komplex. Im einfachsten Fall werden nur einzelne Objekte identifiziert bzw. manipuliert oder ihnen Eigenschaften zugewiesen (niedrige Komplexitätsebene). Im komplexesten Fall sind gemeinsame Merkmale zu Prinzipien und Systemen zusammengefasst, mit Hilfe derer Situationen komplex wahrgenommen und die eigenen Handlungen entsprechend reguliert werden können (hohe Komplexitätsebene) (siehe Abb. 4.1). Die innere Struktur des kognitiven Systems bestimmt also, ob mit Objekten oder mit „Ideen“ (Konzepten) manipuliert werden kann (vgl. LUNETTA 1998; siehe Kapitel 2, S. 9).

Im hier vorgeschlagenen Modell wird eine zweistufige Unterscheidung bezüglich der bei der Handlungsregulation erbrachten kognitiven Leistungen getroffen: Die handlungsleitenden Kognitionen können auf einer deskriptiven Ebene (objektbezogenes Handeln) oder auf einer abstrakten Ebene (konzeptbezogenes Handeln) liegen. Bezogen auf Physik sind abstrakte kognitive Leistungen dadurch charakterisiert, dass physikalische Konzepte zueinander in Beziehung gesetzt werden (siehe das Beispiel in Abb. 4.1). Es wird physikalisch-theoriegeleitet gehandelt. Bei deskriptiven kognitiven Leistungen beziehen sich die handlungsleitenden Kognitionen nur auf Objekte und deren Eigenschaften. Im empirischen Teil der Arbeit wird dieser Sachverhalt mit der Formulierung ‚Handlungsregulation auf der deskriptiven bzw. abstrakten (kognitiven) Ebene‘ beschrieben.

	BESCHREIBUNG	HANDLUNG	KOGNITIONEN	BEISPIEL*
HOHE KOMPLEXITÄTS-EBENE	gemeinsame Merkmale werden zu Prinzipien und Systemen zusammengefasst und angewandt	konzeptbezogenes Handeln	abstrakte kognitive Leistungen (*manipulating ideas*; LUNETTA 1998)	„Bei einer harmonischen Schwingung ist die rücktreibende Kraft proportional zur Auslenkung.“
NIEDRIGE KOMPLEXITÄTS-EBENE	Objekte werden wahrgenommen, manipuliert oder in Beziehung gesetzt; Handlungsprogramme werden durchgeführt	objektbezogenes Handeln	deskriptive kognitive Leistungen (*manipulating objects*)	„Wenn ich das Gewicht an die Feder hänge, zieht die Feder es nach oben.“

Abbildung 4.1: Vereinfachte Darstellung der Komplexitätsebenen kognitiver Teilsysteme und der zugehörigen Handlungsregulation nach FISCHER (1994) (*Beispiele für an der Handlungsregulation beteiligte Kognitionen).

4-2 HANDLUNGSTHEORETISCHE ASPEKTE

Menschliches Handeln wird durch Ziele geleitet, die durch Motive mit Wert versehen werden. Durch das Ziel wird ein Handlungsergebnis kognitiv antizipiert und dient der handelnden Person als Sollwert, der dem Vergleich mit dem tatsächlichen Resultat der Handlung zugrunde gelegt wird (HACKER 1986).

Damit ist eine grundlegende Annahme psychologischer Handlungstheorien bereits beschrieben. Diese Theorien gehen davon aus, dass menschliches Verhalten erklärt werden kann, wenn (1) die Ziele als entscheidende Determinanten der Handlung bekannt sind und (2) bekannt ist, wie die Situation, in der gehandelt wird, diese Ziele beeinflusst. Das bedeutet, dass mit Aufgaben bestimmte Ziele - selbst- oder fremdbestimmt - verbunden sind, mit Hilfe derer Menschen ihr Verhalten selbst regulieren und somit aktiv verändernd in die Umwelt eingreifen. Eine solche Beschreibung unterscheidet sich grundlegend von früheren behavioristischen oder neobehavioristischen Beschreibungen menschlichen Verhaltens, wie sie etwa unter dem S-R-Paradigma (*Stimulus-Response*-Paradigma) formuliert wurden (vgl. CRANACH et al. 1980).

Ebenen der Handlungsregulation

In psychologischen Handlungstheorien wird die menschliche Handlungsregulation immer auf verschiedenen Ebenen beschrieben (HACKER 1986; RASMUSSEN 1986; DÖRNER 1993; VOLPERT 1994). Darin spiegelt sich die grundlegende Erkenntnis wieder, dass Handlungen einerseits automatisch, mittels sensumotorischer Aktionsprogramme ablaufen, andererseits aber auch bewusst durch komplexe Planungsprozesse gesteuert werden können. Dementsprechend werden auch in all diesen Theorien verschiedene Arten von Gedächtnisrepräsentationen angenommen, die sich als wissenbasierte Grundlage des Handelns verstehen lassen (MANDL 1996).

DÖRNER (1993) stellt in seinem „Basisprogramm der Verhaltensregulation“ einen Zusammenhang zwischen dem Verhalten und dem aufgaben- bzw. problembezogenen Wissen des jeweiligen Individuums her. Dabei werden auch Verfahren zur Weiterentwicklung des Wissens berücksichtigt. An Überlegungen von RASMUSSEN (1986) anknüpfend entwickelt er folgende Stufen der menschlichen Handlungsregulation, von denen die jeweils nächsthöhere erst zum Tragen kommt, wenn die Handlung auf der vorhergehenden Ebene nicht zum gewünschten Erfolg führt:

- ***Automatismen:*** Auf der untersten Stufe der Handungsregulation wird eine im Gedächtnis fest als sensumotorisches Verhaltensprogramm verankerte, zielführende Kette von Verhaltensweisen aktiviert. Es wird entschieden, ob eine Situation zu einem bestimmten sensumotorischen Schema passt und daraufhin dieses abgespielt. Dieser Vorgang geschieht unbewusst. Dabei werden die spezifischsten Programme zuerst eingesetzt. Erst bei Schwierigkeiten weicht man auf allgemeinere Programme aus.

  Beispiel: Man nimmt ein Kabel in die Hand und steckt sein Kontaktende an ein Bauteil eines elektrischen Schaltkreises → Das Strommessgerät zeigt nichts an → Intuitiv wird zunächst am Kabel gerüttelt.

- ***Planendes Denken:*** Auf der zweiten Stufe der Handlungsregulation werden zielführende Ketten von Verhaltensweisen konstruiert. Dies wird erst dann versucht, wenn sich keiner der vorhandenen Automatismen als brauchbar erweist oder für eine Situation kein Automatismenwissen vorhanden ist. Das planende Denken ist ein bewusster Vorgang und setzt nach einer Analysephase ein (Hat man Details unberücksichtigt gelassen? Hat man einen grundsätzlichen Fehler begangen?). Grundvoraussetzung für planendes Denken ist, dass Wissenselemente vorhanden sind, die man neu zusammensetzen kann.

  Beispiel: Auch das Kabelrütteln war erfolglos → Man wendet sich der Schaltung zu → Hat man vergessen, das andere Ende des Kabels anzuschließen? → Antwort: Nein → Ist die Schaltung falsch? → Antwort: Ja. Plus- und Minuspol sind direkt miteinander verbunden → Planendes Denken: Plus an Minus bedeutet Kurzschluss; bei Kurzschluss entsteht kein Strom; wenn der Kurzschluss entfernt wird, kann also Strom entstehen → Der Kurzschluss wird entfernt.

- ***Exploration:*** Diese Stufe der Verhaltensregulation wird relevant, wenn kein ausreichendes Wissen vorhanden ist. Es muss also Wissenserwerb stattfinden. Handlungsmuster des Wissenserwerbs sind z.B. „trial and error“, abwartende Beobachtung, oder Interaktion mit anderen Personen. Die Art des eingesetzten Wissenserwerbs hängt von der Art des Problems, von Persönlichkeitsmerkmalen und von kulturspezifischen Merkmalen ab.

  Beispiel: Man kann sich die Nichtexistenz des Stromes nun nicht mehr mit Hilfe vorhandener Wissenselemente erklären → (a) Man probiert alle möglichen Schaltkombinationen aus oder (b) man fragt den Lehrer um Hilfe oder (c) man liest nach, um vorhandenes Wissen zu ergänzen und so handlungsfähig zu werden oder…

Ergänzend muss angemerkt werden, dass DÖRNER in seinem Modell der Verhaltensregulation noch wesentlich weiter geht. Alle einzelnen Schritte können auf ganz unterschiedliche, variable Weise ablaufen. Dabei spielen konkurrierende Motive oder Selbsteinschätzungen, wie z.B. das eigene Kompetenzempfinden, eine Rolle. Die Behandlung einer Absicht (eines Ziels) wird also durch die psychische Gesamtkonstellation moduliert (DÖRNER 1993; siehe auch HORSTENDAHL 1999).

Freiheitsgrade des Handelns

Einige der erwähnten Handlungstheorien sind in der Arbeitspsychologie verankert. Auch in diesen Ansätzen werden - mit einem anderen Begriffsystem - Ebenen der Handlungsregulation beschrieben (HACKER 1986; VOLPERT 1994). In direktem Zusammenhang mit diesen Ebenen wird dort der Freiheitsgrad, den eine Situation zum Handeln lässt, als weitere Variable diskutiert. Der Freiheitsgrad gibt an, wie genau die Abfolge der einzelnen Handlungsschritte durch einen Arbeitsauftrag vorgegeben ist. Ohne Freiheitsgrade wird Handeln reduziert auf die zwei Möglichkeiten, etwas zu tun oder es nicht zu tun. Bei wenigen Freiheitsgraden wird die Modifikation vorgegebener Abfolgen von Teiltätigkeiten möglich, wobei einfache Handlungsschemata ablaufen. In einer Situation mit vielen Freiheitsgraden muss planerisch gehandelt werden, um eine sinnvolle Abfolge von Tätigkeiten selbst zu entwerfen. Da es hierbei nicht auf der Hand liegt, wie die Ausgangssituation mit dem Ziel verbunden ist, muss auf vorhandenes Wissen zurückgegriffen oder neues Wissen erworben werden.

Folgen für die Gestaltung von Arbeits- und Lernbedingungen

An dieser Stelle wird deutlich, dass aus der theoretischen Beschreibung menschlichen Handelns Kriterien für die Gestaltung menschlicher Arbeits- und Lernbedingungen abgeleitet werden können. Nur wenn die Bedingungen so gestaltet sind, dass die damit verbundenen Ziele nicht durch einfache Verhaltensweisen oder Aktionsprogramme erreicht werden können, müssen vorhandene Kenntnisse und Fähigkeiten aktiviert werden, um die Handlung zu regulieren. Hier decken sich Forderungen, wie sie die Arbeitspsychologie an die Gestaltung von persönlichkeitsförderlichen Arbeitsbedingungen stellt (vgl. VOLPERT 1994) mit Forderungen, wie sie sich aus den konstruktivistisch-fachdidaktischen Ansätzen an die Gestaltung von Lernbedingungen ergeben.

Nach diesen Forderungen sollen Lernumgebungen offen gestaltet werden. Sie sollen zu durchdachtem Experimentieren, zur Diskussion und zur Aufhebung von kognitiven Konflikten anregen, indem die vorhandenen Vorstellungen von Lernenden an der wahrgenommenen Realität überprüft werden können (vgl. etwa FISCHER 1990; DUIT 1995; siehe auch Kapitel 2). Zur zentralen Fragestellung wird dabei, wie angeleitet die Handlung sein muss, damit die Lernprozesse erfolgreich (im Sinne der Erwartungen) verlaufen, und wie offen die Situation für die Lernenden sein muss, damit ihre eigene theoretische Basis weiterentwickelt werden kann (ROLF & FISCHER 1996). Von OLSEN et al. (1996, 787) wird dieser Sachverhalt als „*the dilemma of preordinained science and student autonomy*" bezeichnet.

4-3 FACHDIDAKTISCHE ASPEKTE

Mit den beiden vorangegangenen Abschnitten ist der theoretische Rahmen für eine Beschreibung des Physiklernens im Praktikum abgesteckt. Zusätzlich zu den Ebenen der Handlungsregulation und der Kognition muss aber noch eine inhaltliche Dimension berücksichtigt werden, die dem Paradigma der Physik bzw. der thematischen Struktur der Lernumgebung gerecht wird. Der Begriff Lernumgebung steht hier für äußere Lernbedingungen und umfasst ein Arrangement von Unterrichtsmethoden, Lernmaterialien und Medien. Er beinhaltet auch die aktuelle zeitliche, räumliche und soziale Lernsituation, die in einen kulturellen Kontext eingebettet ist (MANDL & REINMANN-ROTHMEIER 1995).

Physiklernen und Handeln

Mit den vorangegangenen Abschnitten kann die Wissensstruktur eines Individuums als eine wesentliche Voraussetzung dafür beschrieben werden, eine Lernumgebung mehr oder weniger komplex wahrzunehmen und die eigene Handlung mehr oder weniger komplex zu regulieren. Bezogen auf das physikalische Praktikum umfasst das strukturelle Wissen einer Studentin oder eines Studenten physikalisch-theoretische Konzepte, aber auch das Wissen über experimentelle Apparaturen und Vorgehensweisen. Aus den bisherigen Darstellungen folgt, dass die Verbindung von Theorie und Praxis im physikalischen Praktikum dann gelingt, wenn Lernende ihr Wissen über physikalisch-theoretische Zusammenhänge nutzen, um die eigene Handlung zu regulieren.

Dabei kann studentisches Handeln in Interaktion mit Materialien oder Geräten sowohl im Hinblick auf die Aufgabe als auch im Hinblick auf die zu ihrer Bearbeitung erbrachten kognitiven Leistungen auf verschiedenen Ebenen geschehen. Gemeint sind einerseits Ebenen der Handlungsregulation (Automatismen vs. Planendes Denken vs. Exploration) und andererseits Komplexitätsebenen des in die Handlung involvierten kognitiven Systems (konzeptbezogenes vs. objektbezogenes Handeln). Dabei kann auf jeder Ebene der Handlungsregulation nach DÖRNER (s.o.) objektbezogen oder konzeptbezogen vorgegangen werden. So kann zum Beispiel einerseits, wie bereits beschrieben, Exploration durch auf Zufall ausgerichtetes Herumprobieren geschehen (konzeptlos), andererseits kann die Anwendung komplexer - z.B. physikalischer - Prinzipien so verinnerlicht sein, dass sie als Automatismus abrufbar ist (konzeptbezogen). HORSTENDAHL (1999) verknüpft die Komplexitäts-ebenen der Kognition nach FISCHER (1994, s.o.) mit dem Theoriegehalt physikalischer Argumentation und integriert beides in das Basisprogramm der Verhaltenregulation (DÖRNER 1993, s.o.). Das Grundgerüst des Modells ist in Abbildung 4.2 dargestellt.

Exploration	konzeptbezogen
	objektbezogen
Planendes Denken	konzeptbezogen
	objektbezogen
Automatismen	konzeptbezogen
	objektbezogen

Abbildung 4.2: Vereinfachte Darstellung des Handlungsrahmens von Schülern im Physikunterricht nach HORSTENDAHL (1999).

Dieses Modell gilt für menschliches Handeln und Wahrnehmen, ohne dass eine inhaltliche Spezifizierung stattfinden müsste. Im physikdidaktischen Zusammenhang interessieren jedoch besonders die handlungsleitenden *physikalischen* Konzepte. Um das Modell noch besser an die zu beschreibende Situation anzupassen, kann daher eine thematische Strukturierung in geeignete Inhaltsbereiche stattfinden. HORSTENDAHL (1999) etwa trennt zwischen Alltagsbeschreibungen physikalischer Sachverhalte einerseits und adäquaten Beschreibungen im Sinne des Paradigmas der Physik andererseits. Diese Einteilung erweist sich als sinnvoll, wenn man Lernprozesse von Schülern analysiert. Durch Einbeziehung des sozialen Inhaltsbereichs unter Berücksichtigung motivationaler Komponenten, gelingt es HORSTENDAHL mit diesem Modell erstmals, motivationale Orientierungen beim Lernen im handlungsorientierten Physikunterricht zu untersuchen.

Inhaltliche Struktur des Hochschulpraktikums

Bei der Anwendung des Modells auf das physikalische Praktikum an der Universität müssen andere inhaltliche Aspekte berücksichtigt werden als in schulischen Situationen:

- Die Lernumgebung ist von der materiellen Ausstattung her anspruchsvoll. Es wird nicht nur mit einfachen Materialien, sondern auch mit komplexen technischen Geräten und Versuchsaufbauten umgegangen.
- Der Aspekt der Messung und des methodischen Vorgehens spielt - zumindest nach den meisten Curricula (vgl. Kapitel 1) - eine wesentlich größere Rolle als etwa in schulischen Lernumgebungen.

In Anlehnung an die Lernzielbereiche, die mit der Durchführung von Praktika in Verbindung gebracht werden (physikalische Konzepte, analytische Fähigkeiten, experimentelle Fertigkeiten; siehe Kap. 1) kann man das physikalische Hochschulpraktikum demnach wie in Abbildung 4.3 dargestellt strukturieren.

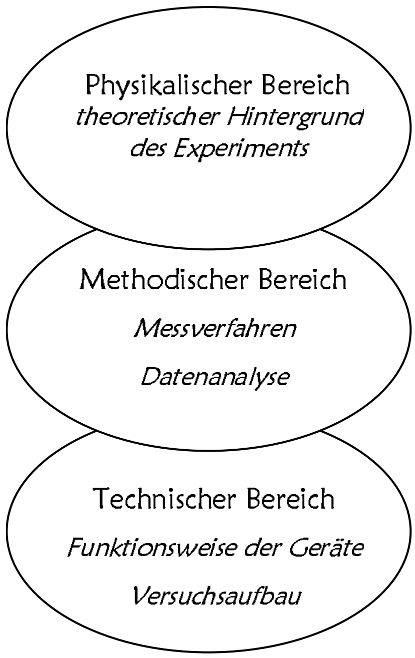


Abbildung 4.3: Inhaltliche Struktur des physikalischen Praktikums.

Eine ähnliche Strukturierung benutzt BÉCU-ROBINAULT (1997), um Lernprozesse von Schülern im Praktikum zu beschreiben. Dabei findet die Handlung von Lernenden beim Experimentieren im Spannungsfeld zwischen zwei kognitiven Welten, der „Welt der Theorien und Modelle“ (*monde des théories et modèles*) und der „Welt der Dinge“ (*monde des choses*) statt. Die Messungen (*mesures*) und die zugehörigen mathematischen Analyseverfahren liegen - vereinfacht dargestellt - dazwischen und setzen beide Welten miteinander in Beziehung. BÉCU-ROBINAULT stützt sich dabei auf erkenntnistheoretische Positionen von KUHN (1983) und FEYNMAN (1980). Danach ist Physik kein rein formales Gebilde, sondern weist einen permanenten Bezug zu Objekten und Ereignissen auf. Umgekehrt ist die Physikerin oder der Physiker aber gezwungen zu abstrahieren, will sie bzw. er über die simple Wahrnehmung von Phänomenen hinausgehen. Somit wird die hier vorgeschlagene inhaltliche Strukturierung der Praktikums-Lernumgebung sowohl von fachdidaktischer als auch von erkenntnistheoretischer Seite gestützt.

Handeln und Lernen im physikalischen Praktikum

Fasst man diese Überlegungen zusammen, so erhält man einen theoretischen Rahmen für die Beschreibung des Physiklernens im Praktikum, in dem sowohl kognitionspsychologische als auch handlungstheoretische und fachdidaktische Aspekte berücksichtigt sind (siehe Abb. 4.4).

	TECHNISCHER INHALTSBEREICH (Geräte, Abläufe)	METHODISCHER INHALTSBEREICH (Messverfahren)	PHYSIKALISCHER INHALTSBEREICH (Theorie)
Exploration	konzeptbezogen	konzeptbezogen	konzeptbezogen
	objektbezogen	objektbezogen	objektbezogen
Planendes Denken	konzeptbezogen	konzeptbezogen	konzeptbezogen
	objektbezogen	objektbezogen	objektbezogen
Automatismen	konzeptbezogen	konzeptbezogen	konzeptbezogen
	objektbezogen	objektbezogen	objektbezogen

Abbildung 4.4: Inhaltsbezogener Handlungsrahmen von Studierenden im physikalischen Praktikum. Bei den grau unterlegten Handlungsweisen kann von *manipulating ideas* gesprochen werden.

Im Hinblick auf die Verbindung von Theorie und Praxis und die Weiterentwicklung physikalischer Konzepte wird gewünscht, dass die Studierenden im Praktikum Ideen statt Geräte manipulieren (GUNSTONE 1991; LUNETTA 1998; s.o.). Dahinter steht der Gedanke, dass Konzepte (*ideas*) bewusst zur Handlungsregulation eingesetzt werden sollen. Nur so kann die Notwendigkeit entstehen, sie zu hinterfragen oder zu verändern. Da Automatismen im handlungstheoretischen Sinne unbewusst ablaufen, sind Konzepte, wenn sie in Automatismen verwandt werden, nicht bewusstseinsfähig (vgl. HACKER 1986). Deshalb kann das Manipulieren von „Ideen“ nur auf den Handlungsebenen des planenden Denkens und der Exploration stattfinden.

Vor dem in diesem Kapitel beschriebenen theoretischen Hintergrund muss eine Analyse studentischer Praktikumsarbeit im Hinblick auf den physikalischen Inhaltsbereich also unter folgender Fragestellung geschehen: Inwieweit werden bei der Praktikumsarbeit von den Studierenden bewusst physikalische Konzepte benutzt oder in Frage gestellt?

EMPIRISCHER TEIL

Kapitel 5

ZIELE DER UNTERSUCHUNG

ROTH et al. (1997), sowie LUNETTA (1998), stellen fest, dass es an empirischen Untersuchungen, die sich mit Lernen im Praktikum befassen, mangelt. Es ist bei der Fülle an Veröffentlichungen zum Thema in der Tat erstaunlich, wie wenig aktuelle empirische Befunde es gibt. Die in der Literatur geführte Diskussion um die Effektivität bestehender Praktika stützt sich zum Großteil auf Untersuchungen, die in den 70er-Jahren und Anfang der 80er-Jahre durchgeführt wurden (siehe Kap. 2). Die neueren Veröffentlichungen der 90er-Jahre beschäftigen sich dagegen hauptsächlich mit den spezifischen Auswirkungen neuer Technologien, z.B. der computergestützten Messwerterfassung, auf das naturwissenschaftliche Lernen (siehe Kap. 3).

Hinzu kommt, wie schon erwähnt, dass sich nur wenige Untersuchungen auf Hochschulpraktika beziehen. Diese zeichnen sich gegenüber Praktika auf Schulniveau durch besondere Rahmenbedingungen aus. Die Experimente beruhen häufig auf einem komplexen theoretischen Hintergrund, der von den Studierenden schon im Vorfeld der Versuchsdurchführung erarbeitet werden muss. Außerdem werden technisch anspruchsvolle Versuchsaufbauten und Messverfahren eingesetzt (vgl. Kap. 4). In Deutschland gibt es überhaupt keine empirischen Befunde darüber, wie und was im physikalischen Praktikum gelernt wird. Angesichts der hohen Erwartungen, die mit Praktika verknüpft werden, angesichts des hohen Stellenwertes, den das Praktikum im Physikstudium einnimmt und angesichts des mit dem Praktikum verbundenen finanziellen, personellen und materiellen Aufwandes ist dies verwunderlich.

Ein wesentliches Ziel der vorliegenden Arbeit ist daher, erstmals das Lernen im physikalischen Praktikum an einer deutschen Universität empirisch zu untersuchen. Die Ergebnisse der Arbeit können als Diskussionsgrundlage für mögliche Verbesserungen der experimentellen Ausbildung dienen. Sie werden außerdem durch Ergebnisse weiterer aktueller Untersuchungen ergänzt (HALLER 1999, SANDER 1999).

Bei zukünftigen Veränderungen der Organisation oder der Inhalte von Praktika wird der Computer vermutlich eine große Rolle spielen. Davon ist allein schon aufgrund der gesellschaftlichen Bedeutung dieser Technologie und der rasanten Entwicklung entsprechender Hard- und Software auszugehen. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist daher, zu untersuchen, inwiefern der Computereinsatz geeignet ist, die Bedingungen des Physiklernens im Anfängerpraktikum zu verbessern. Dabei wird die Anwendung des Computers zur Messwerterfassung und -bearbeitung einerseits und zur Modellbildung und Simulation andererseits untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchung sollen helfen, den Computer gezielt im Praktikum einzusetzen.

Hierfür sollen der Wissenserwerb und die Handlungen von Studierenden, die ein Praktikumsexperiment auf traditionelle Weise durchführen, mit dem Wissenserwerb und den Handlungen von Studierenden verglichen werden, die das gleiche Experiment computerunterstützt durchführen. Als theoretische Grundlage dient der in Kapitel 4 vorgestellte Rahmen, der kognitionspsychologische und handlungstheoretische Konzepte berücksichtigt. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht also die Frage, inwieweit im Praktikum physikalisches Wissen angewandt und erworben wird, und welche Bedingungen hierfür besonders förderlich oder besonders hemmend sind.

Damit erfolgt eine Beschränkung auf einen bestimmten Aspekt des physikalischen Praktikums, die Verbindung von Theorie und Praxis. Wie in Kapitel 1 diskutiert, ist dies nicht der einzige Blickwinkel, unter dem Praktika zu beurteilen sind. Genauso wichtig sind motivationale und epistemologische Gesichtspunkte, sowie die Vermittlung von experimentellen Fertigkeiten. Es liegt aber auf der Hand, dass nicht all diese Aspekte in einer Untersuchung betrachtet werden können. Für jeden der genannten Forschungsgegenstände sind besondere Untersuchungsmethoden notwendig, was die hier vorgenommene Einschränkung rechtfertigt. Im Zusammenhang mit der Ergebnisdiskussion werden aber einige der genannten Aspekte nochmals angesprochen.

Fragestellungen

Die Untersuchung soll folgende Fragestellungen beantworten:

- Wird durch die Durchführung eines Versuchs des physikalischen Anfängerpraktikums an der Universität physikalisches und experimentelles Wissen erworben, und wodurch ist dieses Wissen charakterisiert?

Um diese Frage zu beantworten, werden in der Untersuchung Wissenstests eingesetzt, die vor und nach einem Praktikumsexperiment erhoben werden. Um Aussagen über den inhaltlichen Charakter und die Komplexität der Wissensstrukturen treffen zu können, werden Begriffsnetze benutzt.

- Benutzen Studierende ihr physikalisch-theoretisches Wissen zur Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit, und, wenn ja, unter welchen Bedingungen?

Dies mündet in die Frage, welche Tätigkeiten beim Experimentieren die Entwicklung, Anwendung und Überprüfung von eigenen theoretischen Konzepten der Lernenden fördern. Zur Beantwortung dieser Frage werden Videoaufzeichnungen der Praktikumsarbeit analysiert. Da die Methoden sowohl der Videoanalyse als auch der Begriffsnetzanalyse aus dem gleichen theoretischen Hintergrund (siehe Kap. 4) abgeleitet werden, kann auch untersucht werden, ob ein Zusammenhang zwischen der Handlungsregulation im Praktikum und dem Wissenserwerb besteht.

- Gibt es beim Einsatz des Computers zur Messwerterfassung und zur Modellbildung Unterschiede in der Handlungsregulation und in der Wissensstruktur der Studierenden gegenüber traditionellem Praktikum?

Mögliche Gründe für derartige Unterschiede wurden bereits in Kapitel 3 diskutiert. Danach kann man vermuten, dass die beiden genannten Anwendungen des Computers das Lernen physikalischer Konzepte im Praktikum fördern. Darüber hinaus soll die Untersuchung Aufschluss darüber geben, ob ein derartiger Computereinsatz, insbesondere das Modellbildungssystem, an der Universität ohne weiteres möglich ist oder zu Problemen im physikalischen Verständnis der Studierenden führt.

Aufbau des empirischen Teils der Arbeit

Im folgenden Kapitel 6 wird zunächst auf das Design und die Rahmenbedingungen der Untersuchung, sowie auf die eingesetzten Instrumente und die Hypothesen, eingegangen. In Kapitel 7 werden die für die Untersuchung ausgewählten Praktikumsexperimente und der Ablauf der Untersuchung beschrieben. Die weiteren Kapitel sind den Methoden der Datenanalyse und den Ergebnissen der Untersuchung gewidmet. In einem ersten Schritt werden die Methode zur Videoanalyse und die zugehörigen Ergebnisse vorgestellt (Kapitel 8 und 9). Die Kapitel 10 und 11 enthalten die Methode zur Analyse der Begriffsnetze und die zugehörigen Ergebnisse. Im abschließenden Kapitel 12 werden die Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang diskutiert, und es werden Folgerungen bezüglich der Gestaltung physikalischer Praktika abgeleitet.

Kapitel 6

ANLAGE UND DESIGN DER UNTERSUCHUNG

6-1 RAHMENBEDINGUNGEN

Die Untersuchung fand unter den üblichen Praktikumsbedingungen an der Universität Dortmund statt. Das Anfängerpraktikum ist fester Bestandteil des Physik-Grundstudiums. Es wird an der Universität Dortmund im dritten und vierten Semester absolviert, etwas später als an anderen Hochschulen. Dies führt dazu, dass die Studierenden in der Regel ein fortgeschritteneres physikalisches Verständnis mitbringen als an anderen Universitäten. Das Praktikum unterliegt der Verantwortung eines Hochschullehrers, der sporadisch anwesend ist, um mit Studierenden zu diskutieren. Die eigentliche Organisation und die technische wie inhaltliche Verantwortung für die Experimente liegt bei einem wissenschaftlichen Angestellten. Er wird dabei von einem Techniker unterstützt.

Ablauf des Praktikums

Im physikalischen Anfängerpraktikum führen die Studierenden jede Woche einen anderen Versuch aus einem Pool von 42 Versuchen zu verschiedenen Themengebieten durch. Die einzelnen Experimente werden von den Studierenden in Eigenregie vorbereitet. Sie haben dazu eine detaillierte Versuchsbeschreibung und Anleitung zur Verfügung, die auch die relevante physikalische Theorie und die Aufgabenstellungen für den Versuch enthält (FINKE 1992). In der Anleitung sind ferner die einzustellenden Messbereiche, die einzusetzenden Auswerteverfahren, die zur Errechnung der Ergebnisse notwendigen Formeln und in manchen Fällen auch die zu erzielenden Messergebnisse angegeben. Die Experimente werden von den Studierenden in Zweiergruppen, jeweils an einem Nachmittag der Woche, in den Praktikumsräumen der Universität durchgeführt. Die Analyse der Daten und die Errechnung und Darstellung der geforderten Ergebnisse in einem Versuchsprotokoll findet dann wieder in Eigenregie statt. Die Zweiergruppen arbeiten während des ganzen Semesters über zusammen.

Betreuung der Praktikumsarbeit

Die Studierenden werden bei der Praktikumsarbeit von wissenschaftlichen Mitarbeitern der physikalischen Lehrstühle, in der Regel Diplom-Physiker, betreut. Jeder Betreuer bzw. jede Betreuerin ist während eines Semesters für zwei oder mehrere Versuche zuständig. Die Betreuer haben keine didaktische Ausbildung. In einer Vorbesprechung werden sie über den organisatorischen Ablauf und die Bedingungen für die Scheinvergabe unterrichtet. Sie führen dann vor Praktikumsbeginn die Experimente probeweise durch und eignen sich das relevante technische und physikalische Fachwissen an. Während der Praktikumsarbeit helfen sie den Studierenden bei technischen Problemen und geben Anweisungen, wie viele Messwerte aufzunehmen und wie diese auszuwerten sind.

Bewertung der Praktikumsarbeit

Vor Beginn eines jeden Versuchs werden die Studierenden vom Betreuer oder der Betreuerin in einem Kolloquium geprüft. Dabei wird abgefragt, ob ausreichendes Wissen über den Ablauf und den physikalischen Hintergrund des Experiments vorhanden ist. Es gibt keine einheitlichen Kriterien dafür, wann dies der Fall ist. Das abgefragte Wissen lässt sich in der Regel durch Studium der entsprechenden Versuchsanleitung erwerben. Können die Studierenden über wesentliche Aspekte des durchzuführenden Experiments keine Auskunft geben, besteht die Möglichkeit, sie den Versuch nicht durchzuführen lassen. Sie erhalten dann einen Ersatztermin. Das Bestehen des Kolloquiums sowie die Abgabe eines korrekten Versuchsprotokolls sind Vorraussetzung für die erfolgreiche Durchführung eines Versuches. Das Protokoll wird vom Betreuer oder der Betreuerin beurteilt. Es muss eine Darstellung der physikalischen Theorie, die Beschreibung von Versuchsaufbau und Messung, die Messergebnisse sowie eine ausführliche Fehlerbetrachtung enthalten. Die Beschreibung der Theorie und des Versuchsaufbaus werden von den Studierenden in der Regel aus der Versuchsanleitung übernommen.

Für eine festgelegte Anzahl von erfolgreich absolvierten Versuchen (24) erhalten die Studierenden den Schein für das Anfängerpraktikum.

6-2 ANLAGE DER UNTERSUCHUNG

[In many] studies, behaviours were observed, described, and classified with no efforts to induce changes, to study the underlying conditions, or to find correlates with outcome measures. It may be seen, therefore, that little, if any, research attention has been drawn to the attractive possibility that these behaviour strategies of students may well be strongly related to their performance in and attitude toward laboratory activities (OKEBUKOLA 1985, 222).

Die vorliegende Untersuchung hat zwei Ziele. Zum einen werden die Handlungen (*behaviours*) der Studierenden in verschiedenen Lernumgebungen beschrieben und analysiert. Zum anderen sollen diese Lernumgebungen durch *pre-post*-Tests auf ihre Wirksamkeit bezüglich bestimmter Hypothesen getestet werden. Damit wird die Handlungsregulation der Studierenden mit ihrem Lernerfolg verknüpft. Das methodische Konzept der Untersuchung lässt sich in drei Schritten beschreiben (siehe auch NIEDDERER et al. 1999):

(1) Es werden drei verschiedene Praktikums-Lernumgebungen betrachtet. Sie unterscheiden sich im Hinblick auf die Art des Computereinsatzes. Mit der bestimmten Gestaltung einer Lernumgebung sind verschiedene Hypothesen bezüglich der dadurch bewirkten Lerneffekte verbunden. Die Lernumgebung soll bestimmte Handlungsweisen fördern, die wiederum zu bestimmten Lerneffekten führen sollen.

(2) Die Beobachtung der Studierenden während der Praktikumsarbeit gibt Aufschluss darüber, inwieweit in einer Lernumgebung bestimmte Handlungsweisen auftreten. In dieser Untersuchung wird davon ausgegangen, dass die Auseinandersetzung mit physikalischen Konzepten Vorraussetzung für Physiklernen ist.

(3) Eine Messung des Lernerfolgs gibt Aufschluss darüber, ob die beobachteten Handlungen zu den erwünschten Lerneffekten geführt haben.

Vor der Beschreibung der Hypothesen und der Erhebungsmethoden wird zunächst das Untersuchungsdesign erläutert.

6-3 UNTERSUCHUNGSDESIGN

Um Einflüsse konstant zu halten, die nicht den Computereinsatz betreffen, wird ein Design mit Vergleichsgruppen benutzt. Eine Gruppe von Versuchspersonen (Vpn) führt ein Praktikumsexperiment auf traditionelle Weise durch. Zwei weitere Gruppen führen das gleiche Experiment unter Verwendung des Computers durch. Dabei werden zwei verschiedene Einsatzmöglichkeiten des Computers getrennt untersucht: automatische Messwerterfassung, sowie Modellbildung und Simulation. Die Studierenden im traditionellen Praktikum dienen nicht nur als Kontrollgruppe, sondern sind auch selbst Gegenstand des Forschungsinteresses. So werden mit der Untersuchung Erkenntnisse über das Lernen sowohl im traditionellen als auch im computergestützten Praktikum gewonnen.

Für die Untersuchung wurden aus den Experimenten des physikalischen Anfängerpraktikums der Universität Dortmund zwei Experimente ausgewählt:

I. Das Relaxationsverhalten eines RC-Kreises

II. Anharmonische Schwingungen

Die Kriterien für die Auswahl der Versuche, deren Inhalte, sowie die Gestaltung der drei verschiedenen Lernumgebungen sind in Kapitel 7 genauer beschrieben.

Um die Rahmenbedingungen und die Reihenfolge der Lerninhalte konstant zu halten, wurden die beiden Treatment-Experimente von allen Vpn immer in zwei direkt aufeinanderfolgenden Wochen durchgeführt. Die Versuche waren bezüglich der Bedeutung für den Scheinerwerb allen anderen im Laufe des Praktikums absolvierten Versuchen gleichwertig.

(1) Für die „traditionelle" Gruppe (TRAD) wurden keinerlei Änderungen an Aufbau und Ablauf der ausgewählten Versuche vorgenommen. Diese Vpn benutzen die Experimente so, wie sie seit vielen Jahren im Anfängerpraktikum angeboten werden.

(2) Die Vpn der zweiten Gruppe (MBL) benutzen bei der Durchführung der beiden Versuche ein System zur computergestützten Messwerterfassung (CASSY; LEYBOLD 1994). Dabei ist der Versuchsaufbau über ein Interface mit einem PC verbunden. Die Daten werden in Echtzeit auf dem Bildschirm als Graph dargestellt und stehen auch in Tabellenform zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Damit wird eine sofortige Auswertung der aufgenommenen Messwerte möglich. Dies geschah mit einem speziellen Programm zur Datenanalyse (ORIGIN; MICROCAL 1995), das auch von Wissenschaftlern der Experimentalphysik benutzt wird.

(3) Die Vpn der dritten Gruppe (MBS) benutzte bei der Durchführung der beiden Versuche zusätzlich zur Messwerterfassung ein Modellbildungssystem (STELLA; HIGH PERFORMANCE SYSTEMS 1994). Mit dessen Hilfe erarbeiteten die Studierenden ein physikalisches Modell zum jeweiligen Experiment. Unter Eingabe der realen (gemessenen) Parameter wird das Experiment numerisch simuliert. Das Modell kann dann anhand der experimentellen Messergebnisse überprüft werden bzw. umgekehrt.

Als Wissenstest wurden vor und nach dem jeweiligen Experiment Concept Maps, verbunden mit offenen Interviews, eingesetzt. Dies war notwendig, weil das erfolgreiche Durchführen des Praktikumsexperiments und die hierfür notwendige Wissensbasis ohne umfangreiche Voruntersuchungen nicht zu definieren sind. Die Struktur-Lege-Technik hat in einer solchen Situation den Vorteil, dass die individuelle Wissensbasis der Studierenden eingeschätzt werden kann.

Für die Analyse der Handlungen bei der Versuchsdurchführung wurden die Studierenden während ihrer Praktikumsarbeit per Video beobachtet. Insgesamt ergibt sich das in Abbildung 6.1 (nächste Seite) dargestellte Untersuchungsdesign. Die Erhebungsmethoden sind weiter unten (Abschnitt 6-6) beschrieben.

In Bezug auf die Rahmenbedingungen liegt der einzige Unterschied für die Vpn in Anzahl, Inhalt und Reihenfolge der vor und nach den Treatment-Experimenten absolvierten Praktikumsversuche. Da die Untersuchung unter normalen Praktikumsbedingungen über ein Semester hinweg stattfand, und dabei die turnusmäßige Zuweisung der Studierenden zu den verschiedenen Versuchen einem komplizierten Muster folgt, war dieser Umstand nicht beeinflussbar. Die von einem Studenten über ein Semester hinweg absolvierten Experimente bauen aber nicht aufeinander auf. Jeder Praktikumsversuch ist inhaltlich in sich abgeschlossen, und die physikalischen Themenbereiche zweier Versuche überschneiden sich nur in seltenen Fällen. Es wird daher davon ausgegangen, dass Inhalt und Reihenfolge der übrigen im Semester absolvierten Experimente keinen bedeutenden Einfluss auf das Verhalten der Vpn bei der Durchführung der Treatment-Experimente hat. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass die Studierenden mit zunehmender Zahl von absolvierten Experimenten manuelle Fertigkeiten und prozedurales Wissen erwerben, die ihnen die Handlungsregulation im Praktikum erleichtern. Dies trifft vermutlich vor allem auf die Anfangsphase des Anfängerpraktikums zu (nach Semesterbeginn). Dieser Aspekt wurde berücksichtigt. Die in den beiden ersten Wochen des Semesters aufgenommenen Daten gehen nicht in die Datenauswertung ein (siehe auch Kap. 7-3 zum Ablauf der Untersuchung).

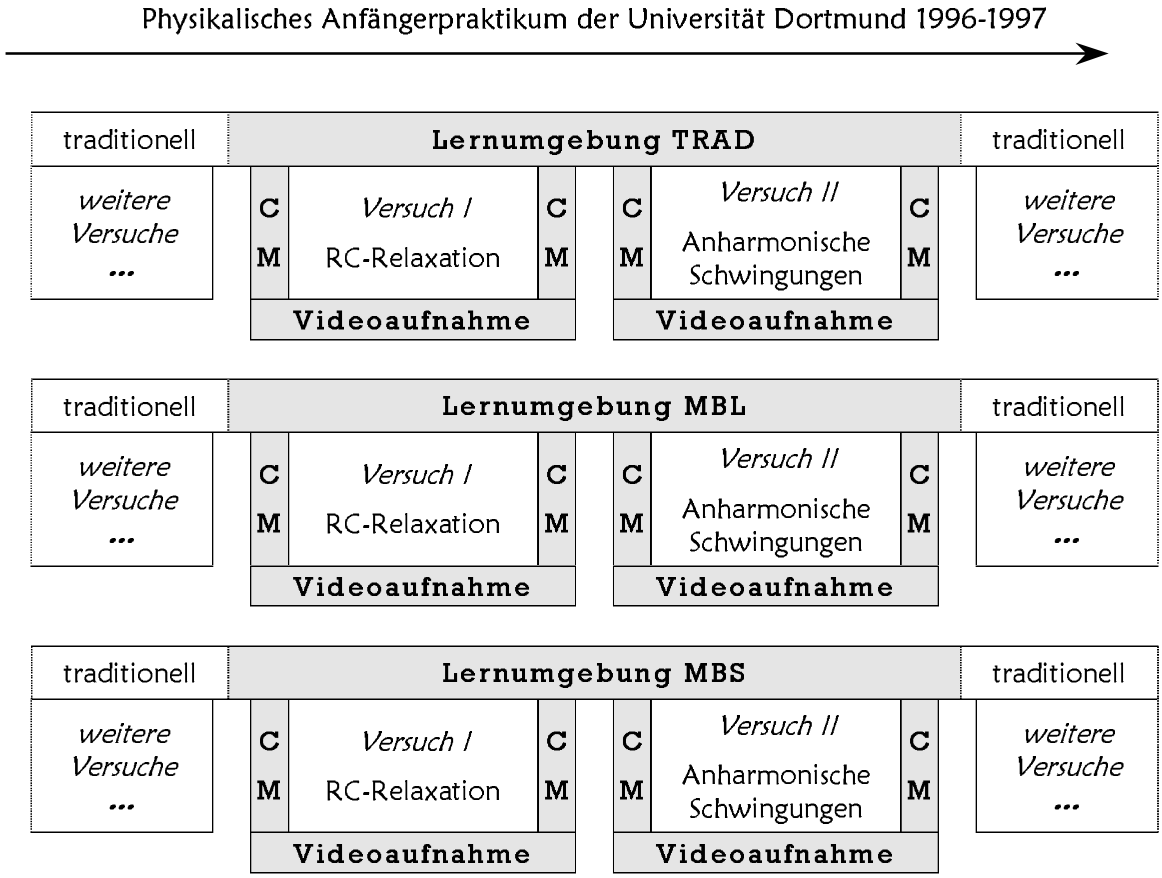


Abbildung 6.1: Design der Untersuchung (TRAD = traditionell, MBL = Messwerterfassung, MBS = Messwerterfassung + Modellbildungssystem, CM = Concept Map).

Die Betreuung der Praktikumsarbeit (s.o.) wurde für diese beiden Experimente vom Durchführenden der Untersuchung übernommen (wie die anderen Praktikums-Betreuer ebenfalls ein Diplom-Physiker). Damit ist anzunehmen, dass auch in Bezug auf die Betreuung alle Vpn ähnlichen Bedingungen unterworfen waren.

Vpn, die die Versuche mit Computer durchführten, wurden in der Benutzung der Computerprogramme geschult (siehe Kap. 7-4). Es musste aber trotzdem damit gerechnet werden, dass bei der ersten eigenständigen Anwendung der Programme im Praktikum technische Probleme auftreten würden. Dem ersten Treatment-Experiment (Versuch I) kommt daher auch eine „Puffer"-Rolle zu. Es sollte gewährleistet werden, dass in mindestens einem der Experimente Probleme bei der Benutzung der verschiedenen Computerprogramme zu keinen erheblichen Unterschieden in der Handlungsregulation der Vpn führen. Durch die Vorschaltung von Versuch I kann davon ausgegangen werden, dass diese Voraussetzungen spätestens bei der Durchführung von Versuch II erfüllt sind.

6-5 HYPOTHESEN

In Kapitel 4 wurde gezeigt, dass studentisches Handeln im Hinblick auf die bei der Praktikumsarbeit erbrachten kognitiven Leistungen auf unterschiedlichen Ebenen stattfinden kann (konzeptbezogenes vs. objektbezogenes Handeln; siehe Abb. 4.1, S. 23). Die bisherigen Befunde zum Lernen im Praktikum lassen, wie in Kapitel 2-1 dargestellt, vermuten, dass in vielen Praktika die Handlungsregulation der Lerner auf einer niedrigen kognitiven Ebene stattfindet, und dass dabei wenig physikalisches und experimentelles Wissen erworben wird. Andererseits belegen, wie in Kapitel 3 dargestellt, zahlreiche Forschungsergebnisse, dass der Einsatz computergestützter Messwerterfassung und der Einsatz eines Modellbildungssystems sich förderlich auf die Auseinandersetzung mit physikalischer Theorie und auf das Lernen im Praktikum auswirken können. Demnach ergeben sich mit den Darstellungen im theoretischen Teil der Arbeit folgende Hypothesen bezüglich des Lernens im physikalischen Anfängerpraktikum mit und ohne Computer:

(1) Die im Praktikum bei der Handlungsregulation erbrachten kognitiven Leistungen der Studierenden hängen von der Art der Lernumgebung ab:

- *(a)* Im traditionellen Praktikum findet die Handlungsregulation bezüglich physikalischer Inhalte auf der deskriptiven kognitiven Ebene statt.
- *(b)* Im computergestützten Praktikum (Gruppen MBL und MBS) findet die Handlungsregulation häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt als im traditionellen Praktikum (Gruppe TRAD).
- *(c)* Wird zusätzlich zur Messwerterfassung ein Modellbildungssystem eingesetzt (Gruppe MBS), findet die Handlungsregulation häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt als beim Einsatz des Computers nur zur Messwerterfassung (Gruppe MBL).

(2) Mit der Durchführung eines Praktikumsexperiments erwerben die Studierenden physikalisches und experimentelles Wissen. Der Umfang des erworbenen Wissens (der Wissenszuwachs) hängt von der Art der Lernumgebung ab:

- *(a)* Studierende im computergestützten Praktikum (Gruppen MBL und MBS) haben einen höheren Wissenszuwachs als Studierende im traditionellen Praktikum (Gruppe TRAD).
- *(b)* Der Einsatz eines Modellbildungssystems im Praktikum (Gruppe MBS) führt zu einem höheren Wissenszuwachs der Studierenden als der Einsatz des Computers nur zur Messwerterfassung (Gruppe MBL).

6-6 ERHEBUNGSMETHODEN

Die beiden wichtigsten Instrumente der Untersuchung sind Begriffsnetze, die jeweils vor und nach der Durchführung der Praktikumsexperimente erhoben wurden, sowie Videoaufnahmen der Praktikumsarbeit. Um sich einen Überblick über die computerbezogenen Voraussetzungen der Studierenden zu verschaffen, wurden außerdem zu Beginn des Anfängerpraktikums unter allen Studierenden des 3. Semesters mit einem kurzen Fragebogen die Computerkenntnisse und die Einstellung zum Computereinsatz erhoben. Der Fragebogen findet sich in Anhang 2.

Videoaufnahmen

Die Videoaufzeichnungen dienen der Analyse der Handlungen und der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit. Dabei beschränken sich die Videoaufzeichnungen nicht auf die eigentliche Versuchsdurchführung in den Praktikumsräumen der Universität. Auch die Versuchsauswertung und die Protokollerstellung, die die Studierenden normalerweise zu Hause erledigen, wurde aufgezeichnet. Hierfür arbeiteten die jeweiligen Zweiergruppen in einem dafür vorgesehenen Raum mit PC-Arbeitsplatz. Ferner wurde im Praktikum zusätzlich zu einer Totalen des Praktikums-Arbeitsplatzes auch der Computerbildschirm über einen TV-Enkoder auf Video aufgezeichnet, um die Handlungen der Studierenden bei der computergestützten Praktikumsarbeit analysieren zu können.

Auswertung

Die Aufnahmen werden mit einer kategoriegeleiteten Analyse ausgewertet. Während die Handlungen bzw. Tätigkeiten von Studierenden im Praktikum bereits häufiger untersucht wurden, und somit Beispiele für entsprechende Kategorien vorliegen (z.B. KYLE et al. 1979, TAMIR & LUNETTA 1981, GERMANN et al. 1996), gibt es noch keine geeigneten Verfahren zur Beschreibung der an der Handlungsregulation beteiligten Kognitionen der Studierenden. Die Methode muss für diese Untersuchung also erst entwickelt werden. Das Auswerteverfahren, sowie das Vorgehen bei der Analyse der Videodaten ist in Kapitel 8 ausführlich beschrieben.

Begriffsnetze

Begriffsnetze (Concept Maps)* sind, basierend auf Theorien der Kognitionspsychologie, als Methode zur Wissensdiagnostik entwickelt worden. Es handelt sich dabei um eine Darstellung von Begriffsstrukturen, die aus einzelnen Konzepten und Relationen zwischen diesen Konzepten (Propositionen; siehe Kap. 4) besteht. Mit Concept Maps können durch Instruktion bewirkte Wissensänderungen nachgewiesen werden (z.B. LAWLESS 1994; MARKHAM et al. 1994; NAKHLEH & KRAJCIK 1994, siehe Kap. 4; SCHEMANN 1995). Der Einsatz von Concept Maps als Erhebungsmethode (und als Instruktionsmethode) ist in der Naturwissenschaftsdidaktik sehr verbreitet. Ein Grund dafür ist, dass diese Art der Darstellung für die Strukturierung naturwissenschaftlicher Zusammenhänge besonders geeignet ist (NOVAK 1990). Außerdem können mit dieser

---

* Die Ausdrücke Concept Map und Begriffsnetz werden in dieser Arbeit synonym verwendet.

Methode Erkenntnisse über das konzeptuelle Wissen von Lernern gewonnen werden, die andere Methoden nicht liefern (HASEMANN & MANSFIELD 1995). Insbesondere können die Art und die Struktur des Wissens zu einem Themenbereich genau untersucht werden.

In der vorliegenden Untersuchung sollen Veränderungen im Wissen von Studierenden zu einem Praktikumsexperiment untersucht werden. Es handelt sich also nicht nur um Wissen über physikalische Zusammenhänge (physikalisches Wissen), sondern auch um Wissen über Versuchsaufbauten und Messverfahren (experimentelles Wissen). An diesen Sachverhalt werden die eingesetzten Begriffsnetze angepasst (vgl. TERGAN 1989). Sie enthalten neben physikalisch-theoretischen Begriffen auch Begriffe zum Versuchsaufbau und zur Messmethodik der von den Vpn durchgeführten Praktikumsexperimente. Es ist deshalb zu erwarten, dass die Netze Bereiche unterschiedlicher Abstraktion (objektbezogen vs. konzeptbezogen; siehe Kap. 4) enthalten.

Auswahl der Begriffe

Es gibt bisher kein empirisch validiertes Verfahren für die Auswahl geeigneter Konzepte zur Untersuchung kognitiver Strukturen (ACTON et al. 1994). Die Auswahl richtet sich in der Regel nach pragmatischen Kriterien. Meist werden Konzepte benutzt, die eine zentrale Bedeutung für das jeweilige Themengebiet haben, und die nach einer Unterrichtseinheit allen untersuchten Personen bekannt sein müssten. In dieser Untersuchung geschieht die Auswahl anhand der Anleitung für das jeweilige Praktikumsexperiment (FINKE 1992; vgl. Kap. 7; siehe Anhang 1). Die Studierenden bereiten sich anhand dieser Anleitung auf das Praktikum vor (s.o.). Die in der Anleitung am häufigsten vorkommenden und für das Experiment zentralen physikalisch-theoretischen Konzepte, sowie die wesentlichen Bestandteile des experimentellen Aufbaus, werden als Ausgangswörter für die Concept Maps vorgegeben. Die insgesamt 20 Wörter sind im Zusammenhang mit der Auswertemethodik in Kapitel 10 dokumentiert.

Durchführung der Erhebung

Von jeder Vpn wurden pro Treatment-Experiment zwei Begriffsnetze erhoben. Die erste Erhebung fand jeweils vor Beginn der Versuchsdurchführung statt. Die Vpn hatten sich zuvor auf die für sie übliche Weise auf das Experiment vorbereitet. Die zweite Erhebung fand nach Abschluss des Versuchs statt, nach Fertigstellung des Versuchsprotokolls durch die Studierenden.

Auf einem leeren Papierbogen wurden einer Vpn jeweils die auf verschiebbare Karten gedruckten Wörter vorgegeben. Die Ausgangslage war für alle Vpn gleich. Die Aufgabe lautete: „Beschreibe durch Legen und Verbinden der Karten den Praktikumsversuch und beschrifte die Verbindungen." Die Vpn hatten bei der Beschriftung alle Freiheiten. Sie durften auch beliebige Begriffe hinzufügen oder vorgegebene Wörter in ihrem Begriffsnetz weglassen. Im direkten Anschluss an den Legeprozess wurde ein etwa 15-minütiges Interview durchgeführt. Die gestellten Fragen bezogen sich ausschließlich auf das von der jeweiligen Vpn gelegte Begriffsnetz. Zunächst erläutern die Vpn dem Interviewer in eigenen Worten das Netz. Sind dann Verbindungen noch nicht eindeutig erklärt, wird mit standardisierten, offenen Fragen eine genauere Erklärung verlangt (z.B.: „Was genau meinst du mit dieser Verbindung?“). Mit diesem Verfahren soll sichergestellt werden, dass das Legen der Begriffsnetze und die Beantwortung der Interviewfragen nur vom jeweiligen Vorwissen geleitet werden. Der gesamte Entstehungsprozess der Begriffsnetze sowie die Interviews wurden videodokumentiert.

Auswertung

Die Auswertung der Wissensnetze geschieht anhand eines Referenznetzes, dessen Verbindungen kategorisiert werden. Um den Wissenserwerb mit der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit in Verbindung bringen zu können, werden die gleichen Kategorien angewendet wie zur Analyse der Videodaten. Das Auswerteverfahren, sowie das Vorgehen bei der Analyse der Begriffsnetze ist in Kapitel 10 ausführlich beschrieben.

Kapitel 7

EXPERIMENTE UND ABLAUF DER UNTERSUCHUNG

7-1 AUSWAHL UND GESTALTUNG DER VERSUCHE

Im traditionellen Anfängerpraktikum der Universität Dortmund stehen insgesamt 42 vorbereitete Versuche zu acht verschiedenen physikalischen Themengebieten zur Verfügung. Die Auswahl der beiden Experimente für die vorliegende Untersuchung unterlag folgenden Kriterien:

- Die computergestützte Messwerterfassung mit PC muss möglich sein. Dies lässt sich im Prinzip bei jedem Praktikumsexperiment realisieren. Jedoch darf einerseits der technische und zeitliche Aufwand nicht zu groß werden, andererseits sollen weder Versuchsaufbau noch Versuchsinhalt wesentlich gegenüber dem traditionellen Setting verändert werden.
- Die Simulation des Experiments mit einem STELLA-Modell muss möglich sein. Das bedeutet, dass zeitlich abhängige Phänomene untersucht werden müssen. Z. B. Themen der Optik (z.B. „Dispersionsmessungen“) oder der Atomphysik (z.B. „Photo-Effekt“) lassen sich mit STELLA nicht behandeln.
- Das Experiment soll einen deutlich erkennbaren physikalisch-theoretischen Hintergrund haben, der auch Thema des Versuches ist. Bei einigen Versuchen des Anfängerpraktikums stehen technische Geräte oder Verfahren im Mittelpunkt (z.B. „Geiger-Müller-Zählrohr“, „Elektrische Brückenschaltungen“, o.ä.). Solche Experimente sind für diese Untersuchung nicht geeignet (vgl. Kap. 5 zu den Zielen der Untersuchung).
- Die beiden Versuche sollen aus unterschiedlichen physikalischen Themengebieten stammen. Damit wird einerseits ausgeschlossen, dass die Durchführung und das Legen der Begriffsnetze des ersten Versuchs bereits zu Lerneffekten bezüglich des

zweiten Versuchs führt. Andererseits wird eine Beschränkung auf ein Themengebiet vermieden. So kann überprüft werden, ob die Untersuchungsergebnisse vom Themengebiet des Versuchs abhängen.

Legt man diese vier Kriterien zugrunde, schränkt sich die Zahl der in Frage kommenden Praktikumsexperimente stark ein. Die beiden in Kapitel 6 genannten Versuche erweisen sich im Hinblick auf die Zielsetzung der Untersuchung als geeignet. Sie werden im Folgenden kurz beschrieben. Auf die detaillierte Darstellung des physikalischen Hintergrundes und der Schaltungen bzw. Aufbauten wird aber an dieser Stelle verzichtet. Es soll vor allem erläutert werden, worin sich jeweils die computergestützte von der traditionellen Lernumgebung unterscheidet. Für alle weiterführenden Erläuterungen sei auf die zugehörigen Praktikumsanleitungen in Anhang 1 verwiesen. Dort sind auch die zu den beiden Experimenten passenden STELLA-Modelle dokumentiert.

Versuch I: Relaxationsverhalten eines RC-Kreises

Dieser Versuch illustriert exemplarisch die für Relaxationserscheinungen typischen Phänomene und Zusammenhänge. Dabei wird die Zeitkonstante eines RC-Schaltkreises auf verschiedene Art und Weise ermittelt. Die elektrischen Schaltungen hierzu werden von den Studierenden selbst aufgebaut, sind aber in der Versuchsanleitung erläutert und abgebildet. Die Messungen werden im traditionellen Setting mit Hilfe eines XY-Schreibers durchgeführt. Im computerunterstützten Experiment wird der XY-Schreiber durch den Computer ersetzt.

Im ersten Versuchsteil wird die exponentiell abfallende Entladekurve des Kondensators aufgezeichnet.

Traditionell: Die X-Achse des XY-Schreibers, an der eine Dreieckspannung anliegt, wird mit Hilfe eines quarzgesteuerten Periodendauermessers in Zeiteinheiten geeicht. Die Zeitablenkgeschwindigkeit soll so eingestellt werden, dass die Kondensatorspannung am Ende des Messzeitraumes ungefähr auf ein Zehntel ihres Ausgangswertes abgesunken ist. Damit werden die fehlerbehafteten kleinen Spannungswerte unberücksichtigt gelassen. In der Auswertung wird mit einer ausreichenden Zahl von logarithmisch aufgetragenen Messwerten eine lineare Regression durchgeführt. Der Steigung der berechneten Geraden wird die Zeitkonstante entnommen.

Mit Computer: Die Entladekurve wird über CASSY mit dem PC aufgenommen. Es bedarf dafür keiner Dreieckspannung, auch braucht die Zeitachse nicht geeicht zu werden. Die Messwerte können direkt in ORIGIN übernommen werden. Dort werden sie halblogarithmisch aufgetragen und die lineare Regression wird vom Rechner durchgeführt. Da es keine Begrenzung bezüglich der Messdauer gibt, werden auch sehr kleine Spannungswerte aufgenommen. Die Regression muss deshalb auf einen Bereich mit geringer Streuung der Spannungswerte beschränkt werden. Der angezeigten Steigung wird die Zeitkonstante entnommen.

Im zweiten Versuchsteil wird die Schaltung leicht verändert und ein Sinusgenerator (Spannung U_0) angeschlossen. Für verschiedene Frequenzen von U_0 wird dann die Kondensatorspannung (U_C) gemessen.

<u>Traditionell</u>: Für jede eingestellte Frequenz von U_0 werden auf dem XY-Schreiber die Amplituden von U_c und U_0 als vertikale Linie aufgezeichnet. Die Verhältnisse der Linienlängen entsprechen den Amplitudenverhältnissen. In der Auswertung werden diese in Abhängigkeit von der Frequenz in ein Diagramm eingetragen. Die Frequenz wird dabei logarithmisch aufgetragen, um den großen Messbereich zu stauchen. Aus einzelnen Wertepaaren wird dann wiederum die Zeitkonstante errechnet.

<u>Mit Computer</u>: Der Unterschied zum traditionellen Setting besteht darin, dass der zeitliche Verlauf der Schwingungskurven von Sinus- und Kondensatorspannung, sowie ihre Phasenverschiebung, in Echtzeit visualisiert wird. Die Amplituden werden in den Schwingungskurven ausgemessen und in eine ORIGIN-Tabelle eingetragen. Das weitere Vorgehen ist das gleiche wie im traditionellen Fall. Nur kann die Berechnung der Zeitkonstanten sofort geschehen, da die Messwerte mit ORIGIN leicht umgerechnet und im Diagramm dargestellt werden können.

Im dritten Versuchsteil wird die gleiche Schaltung benutzt. Allerdings werden nun U_0 und U_C gegeneinander aufgetragen. Dies ergibt Lissajous-Ellipsen, deren Ausdehnung sich die Phasenverschiebung zwischen beiden Spannungen entnehmen lässt.

<u>Traditionell</u>: Für verschiedene Frequenzen von U_0 werden Lissajous-Ellipsen aufgezeichnet. In der Auswertung wird die Phasenverschiebung ausgemessen bzw. errechnet. So wie im zweiten Versuchsteil die Amplitude wird nun die Phase gegen die Frequenz aufgetragen. Wiederum wird aus einzelnen Wertepaaren die Zeitkonstante berechnet.

<u>Mit Computer</u>: Die Versuchsteile zwei und drei lassen sich mit dem Computer in einem Arbeitsschritt bearbeiten, da unter CASSY die Schwingungskurven und die Lissajous-Ellipsen gleichzeitig visualisiert werden können. Das weitere Vorgehen entspricht dem in Versuchsteil zwei.

In einem zusätzlichen Auswerteschritt wird das Amplitudenverhältnis U_C/U_0 gegen die Phasenverschiebung in Polarkoordinaten aufgetragen. Dabei ergibt sich laut Theorie ein Halbkreis.

<u>Traditionell</u>: Da Amplitude und Phase in zwei getrennten experimentellen Schritten aufgenommen wurden, entsprechen sich die jeweils eingestellten Frequenzen normalerweise nicht. Die in Polarkoordinaten aufzutragenden Frequenzen müssen daher mit Hilfe der beiden Diagramme (Amplitude bzw. Phase gegen Frequenz) interpoliert werden.

<u>Mit Computer</u>: Da Amplitude und Phase in einem Schritt, bei gleichen Frequenzen von U_0, aufgenommen wurden, kann die Darstellung in Polarkoordinaten in ORIGIN sofort erfolgen.

Die Versuchsanleitungen für die computerunterstützten Lernumgebungen unterscheiden sich von denen für die traditionelle Lernumgebung lediglich in der Berücksichtigung des Interfaces und des Computers in den Schaltungs-Skizzen (siehe Anhang 1). Außerdem enthalten erstere einige Hinweise, wie die Computerprogramme zu verwenden sind. Unter anderem werden die Studierenden aufgefordert, die Auswertung der Messungen - das heißt, die Darstellung der Graphen, die Berechnungen der Zeitkonstanten und die Polarkoordinatendarstellung - sofort im Anschluss an die Messung durchzuführen.

Die Anleitungen für Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, enthalten außerdem die zusätzliche Aufgabe, ein STELLA-Modell des Experiments zu entwickeln (siehe Anhang 1). Dieses soll mit Hilfe der im ersten Versuchsteil gemessenen Werte überprüft werden. Im dritten Versuchsteil sollen dann Modellrechnungen mit den eigenen Messungen verglichen werden.

Versuch II: Anharmonische Schwingungen

Das Amplituden- und Phasenverhalten einer erzwungenen anharmonischen Drehschwingung soll mittels eines Pohlschen Rades untersucht werden. Die Nichtlinearität wird durch eine kleine Masse an der Peripherie des Schwungrades erreicht. Die Größe der Masse ist vorgegeben. Ziel der Messung ist die Aufnahme zweier Kurven, Amplitude (des Schwungrades) gegen Frequenz und Phasenverschiebung (zwischen Schwinger und Erreger) gegen Frequenz. Die gemessenen Kurven sollen jeweils mit theoretisch errechneten Kurven verglichen werden.

Die theoretischen Kurvenverläufe können nur mit Hilfe eines komplizierten Näherungsverfahrens (Harmonische Balance) berechnet werden. Um die theoretischen Kurvenverläufe für den gegebenen Versuchsaufbau zu ermitteln, müssen zunächst die Schwingungsparameter (Motordrehmoment, Trägheitsmoment, Federkonstante, etc.) ausgemessen werden. Die Berechnung der theoretischen Kurven übernimmt dann, auch im traditionellen Setting, ein einfaches Rechnerprogramm.

Dieser Praktikumsversuch ist besonders für die vorliegende Untersuchung geeignet, da die Verbindung von Theorie und Experiment als Ziel des Versuchs explizit gemacht wird. So leiten sich alle Verfahren zur Parameterbestimmung direkt aus theoretischen Überlegungen ab. Umgekehrt werden die gemessenen Parameter verwendet, um theoretische Vorhersagen zu machen. Es kann daher damit gerechnet werden, dass, verglichen mit anderen Praktikumsexperimenten, dieser Versuch die Anwendung theoretischen Wissens bei der Handlungsorganisation in besonderem Maße fördert.

Traditionell: Die Amplitude des Schwungrades wird mit dem Auge auf einer Winkelskala abgelesen. Diese Messung ist fehlerbehaftet, da das Schwungrad beim Ablesen in Bewegung ist. Außerdem treten Parallaxenfehler auf. Zur Messung der Periodendauern von Schwinger und Motor, sowie zur Messung der Phasenverschiebung, sind Lichtschranken angebracht. Diese sind mit einem digitalen Zeitmessgerät verbunden. Um die nicht geschwindigkeitsproportionale Dämpfung der Achslagerung vernachlässigen zu können, wird mittels einer Wirbelstrombremse eine hinreichend hohe, geschwindigkeitsproportionale Dämpfung angelegt.

Mit Computer: Für diese Lernumgebung wurde ein zweites Pohlsches Rad umgebaut. An der Achse des Schwungrades wurde ein reibungsarmes Drehpotentiometer angebracht. Die dort abgegriffene Spannung ist der Auslenkung proportional. Sie wird an den Computer gegeben und als Schwingungskurve visualisiert. Die Amplitude des Schwungrades, wie auch die Phasenverschiebung zwischen Schwungrad und Motor, kann dieser Kurve sehr exakt entnommen werden. Die Werte können sofort in eine ORIGIN-Tabelle eingetragen, umgerechnet und graphisch dargestellt werden. Mit Hilfe des Computers ist es ferner möglich, die Einschwingvorgänge zu visualisieren. Auch der ausgeprägte Sprung *der Amplitude bei einer bestimmten Erregerfrequenz, sowie die Entwicklung der Phasenverschiebung bei dieser Frequenz, kann am Computerbildschirm direkt beobachtet werden.*

Die Versuchsanleitungen für die computerunterstützten Lernumgebungen unterscheiden sich von denen für die traditionelle Lernumgebung lediglich in der Berücksichtigung des Interfaces und des Computers in den Skizzen des Versuchsaufbaus (siehe Anhang 1). Außerdem enthalten erstere einige Hinweise, wie die Computerprogramme zu verwenden sind. Unter anderem werden die Studierenden aufgefordert, die Auswertung der Messung, das heißt, den Vergleich der gemessenen Kurven mit den theoretisch ermittelten, sofort im Anschluss an die Messung durchzuführen.

Die Anleitungen für Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, enthalten die zusätzliche Aufgabe, ein STELLA-Modell des Experiments zu entwickeln (siehe Anhang 1). Dieses soll mit Hilfe der im ersten Versuchsteil für die Schwingungsparameter gemessenen Werte überprüft werden. Das Modell soll ferner benutzt werden, um die Frequenz, bei der der Amplitudensprung bzw. Phasensprung zu erwarten ist, so genau wie möglich vorherzusagen. Durch diese Hilfestellung wird, bei ausreichend genauen Parameterwerten, eine präzisere Messung des Amplituden- und Phasenverlaufs ermöglicht.

7-2 AUSWAHL DER VERSUCHSPERSONEN

20 Studierende im dritten Semester des Physikstudiums erklärten sich zur Teilnahme an der Untersuchung bereit. Das Konzept der Untersuchung wurde in der vor Beginn des Praktikums stattfindenden Vorlesung zur Einführung in physikalische Messmethoden kurz vorgestellt. Dabei wurden die Studierenden um Teilnahme gebeten. Obwohl eine Vergütung für den über das normale Praktikum hinausgehenden Zeitaufwand angeboten wurde, musste diese Prozedur wiederholt werden, um eine genügend hohe Zahl von Vpn (mindestens 6 pro Lernumgebung) zu erreichen. Einige der Vpn erklärten sich erst auf persönliche Aufforderung hin zur Teilnahme bereit. Das größte Hemmnis für die Studierenden schienen Befürchtungen bezüglich der Aufzeichnung ihrer Praktikumsarbeit per Video sowie die Angst vor zu großem zeitlichem Mehraufwand zu sein. Da es sich für sie um das erste universitäre Praktikum handelte waren die Studierenden offenbar unsicher darüber, was sie im physikalischen Anfängerpraktikum überhaupt erwartet.

Bei der Konzeption der Untersuchung wurde davon ausgegangen, dass die Vpn zufällig auf die drei unterschiedlichen Lernumgebungen verteilt werden. Mehrere Studierende (8 von 18) nahmen jedoch nur an der Untersuchung teil, weil sie mit dem Computer arbeiten wollten. Daher mussten diese Vpn den entsprechenden Lernumgebungen zugeordnet werden. Die verbleibenden Vpn wurden zufällig aufgeteilt. Dies spricht einerseits für die Beliebtheit des Computers bei den Studierenden, birgt andererseits aber die Gefahr, dass die drei Untersuchungsgruppen nicht homogen in Bezug auf die individuellen Vorraussetzungen der Vpn sind. Es ist vorstellbar, dass Studierende, die ein besonderes Interesse für das Praktikum zeigen, sich mehr engagieren als andere Studierende, was eine größere Kompetenz erwarten lässt (vgl. Kap. 11 zu den Ergebnissen der Begriffsnetzanalyse).

7-3 ABLAUF DER UNTERSUCHUNG

Vorabtests

Vor Beginn der eigentlichen Datenaufnahme wurden kleinere Voruntersuchungen und Tests durchgeführt. Diese betrafen die Entwicklung der eingesetzten Concept Maps sowie die technische Realisierung der Videoaufnahmen. Noch im Sommersemester 1996 wurden Probeaufnahmen von Studierenden, die zu dieser Zeit die beiden Treatment-Experimente (auf traditionelle Weise) durchführten, gemacht, um die Aufnahme- und Tontechnik zu optimieren. Auch das Legen der Concept Maps wurde mit diesen Studierenden getestet, um zu beurteilen, ob die ausgewählten Begriffe das Erstellen eines stimmigen Wissensnetzes zum Experiment ermöglichen. Die vorgegebenen Begriffe wurden daraufhin entsprechend modifiziert.

Datenaufnahme

Die Datenaufnahme der Untersuchung fand plangemäß im WS 1996/97 und SS 1997 statt. Während der ersten beiden Wochen stellte sich heraus, dass in dieser Zeit das Verhalten der Studierenden noch sehr stark von der Neuigkeit des Praktikums beeinflusst wird. Dies zeigte sich an vielen Fragen, was denn nun zu tun sei, wie das Protokoll auszusehen habe, etc. Da nicht auszuschließen ist, dass dies zu Verzerrungen führt im Vergleich mit Vpn, die die beiden Treatment-Versuche später im Verlauf des Praktikums absolvieren, wurden die in den beiden ersten Wochen aufgenommenen Daten nicht mit in die Untersuchung einbezogen (vgl. Kap. 6-3). Damit verbleiben 18 Vpn, sechs pro Lernumgebung (je drei Zweiergruppen). Jede Woche wurde eine Zweiergruppe bei ihrer Praktikumsarbeit in der entsprechenden Lernumgebung betreut bzw. aufgenommen. Die Datenaufnahme erstreckte sich somit über 18 Wochen (jede der neun Zweiergruppen absolvierte beide Treatment-Experimente) und endete Mitte des Sommersemester 1997.

Die Durchführung der Experimente fand jeden Dienstag Nachmittag im physikalischen Praktikum statt. Vorher, entweder Dienstagvormittags oder Montagnachmittags, legten die Vpn jeweils einzeln das entsprechende Begriffsnetz (vgl. Kap. 6-5). Der Legeprozess dauerte 30-45 Minuten. Das anschließende Interview dauerte nochmals 15-20 Minuten.

Die Auswertung der Messungen durch die Vpn wurde entweder mittwochs oder donnerstags aufgezeichnet. Die Bedingungen hierfür ließen sich allerdings nur schwer kontrollieren. Einige der Studierenden etwa teilten sich die Arbeit auf und schrieben den Theorieteil des Versuchsprotokolls bereits vor der Versuchsdurchführung, andere schrieben das gesamte Protokoll hinterher (siehe hierzu auch Kap. 9-5). In vier Fällen musste die Aufnahme abgebrochen werden, da die Auswertearbeit zu lange dauerte (>5h).

Am Donnerstagnachmittag oder Freitag legten die Vpn dann das zweite Begriffsnetz zum durchgeführten Experiment (vgl. Kap. 6-5). Dauer und Ablauf waren wie beim ersten Begriffsnetz beschrieben (s.o.).

7-4 EINFÜHRUNG DER COMPUTERPROGRAMME

Versuchspersonen, die mit den Computersystemen zur Messwerterfassung und Modellbildung arbeiteten, erhielten rechtzeitig eine gemeinsame Schulung in einem mit mehreren Rechnerarbeitsplätzen ausgestatteten Raum. Dabei wurden die für die Durchführung der ausgewählten Experimente notwendigen Funktionen der Programme an simplen Beispielen erläutert und von den Vpn am Computer nachvollzogen. Die Beispiele waren so gewählt, dass eine inhaltliche Überschneidung mit den Treatment-Experimenten ausgeschlossen war. Die Einführung in die Systeme zur Messwerterfassung (CASSY) und -bearbeitung (ORIGIN) dauerte etwa 1,5 Stunden. Die Einführung in das Modellbildungssystem (STELLA) dauerte ebenfalls etwa 1,5 Stunden. Letztere erfolgte nach einem bewährten Verfahren, bei dem mit einfachen kinematischen Zusammenhängen begonnen wird (SCHECKER 1998b). Die Komplexität der Modelle lässt sich dann unter Zuhilfenahme der verschiedenen, in STELLA verfügbaren Funktionen nach Bedarf schrittweise steigern. Die Schulungen wurden beendet, als alle betreffenden Vpn das Gefühl hatten, selbstständig mit den Computerprogrammen umgehen zu können. Es zeigte sich, dass die Vpn bei der Anwendung der Programme beim Experimentieren keine bedeutenden technische Probleme hatten.

Erstellung des STELLA-Modells zum Experiment

Um den zeitlichen Rahmen des Praktikums nicht zu sprengen, bekamen Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiteten, Gelegenheit, bereits Dienstagvormittags mit der Versuchsdurchführung zu beginnen. Diese Zeit wurde in der Regel genutzt, um das zum Versuch passende STELLA-Modell zu entwickeln. Es zeigt sich, dass die Studierenden diese Aufgabe überraschend schnell und gut lösen. Vom Anschalten des Computers bis zu Fertigstellung eines korrekten Modells (das allerdings erst nach Durchführung der Messungen am Experiment getestet werden kann) vergehen zwischen 20 und 40 Minuten. Dies gilt auch für das im Vergleich zu Versuch I relativ komplexe Modell zur nichtlinearen erzwungenen Schwingung.

Diese Beobachtung kann bereits als ein Ergebnis der Untersuchung gelten. Der Einsatz eines Modellbildungssystems im physikalischen Praktikum an der Universität ist ohne weiteres möglich. Dies war aus zwei Gründen nicht unbedingt zu erwarten:

- Es kann vermutet werden, dass die spezifische graphische Darstellung physikalischer Zusammenhänge im Widerspruch zum für gewöhnlich sehr mathematisch geprägten Physikverständnis der Studierenden steht (vgl. Kap. 3-3). Dies trifft auf mindestens eine der Vpn offenbar auch zu. Dieser Student fasst die in STELLA benutzten Symbole für Veränderungsraten als mathematische Symbole für Ableitungen auf und argumentiert während der graphischen Erstellung des Modells mit Differentialgleichungen. Dies führt zu einigen Fehlversuchen beim Modell zum RC-

Kreis (Versuch 1). Letztendlich arbeitet aber auch diese Vpn erfolgreich mit dem Modellbildungssystem. Offenbar kann ein Modellbildungssystem im dritten Semester an der Universität ein gutes Hilfsmittel sein, um über den Charakter physikalischer Größen und Zusammenhänge zu diskutieren.

- Ein zweiter Grund, weswegen das besagte Ergebnis überraschend erscheint, ist die äußerst knappe Einführung in die Benutzung des Modellbildungssystems. Sie beschränkte sich auf 1,5 h Unterricht (s.o.). Dies barg ein gewisses Risiko. Bisher liegen hauptsächlich Erfahrungen auf Schulniveau vor. Dort muss in der Regel eine wesentlich sorgfältigere, schrittweise Einführung angeboten werden (SCHECKER 1998b). Auch aus einer parallelen Untersuchung im physikalischen Praktikum der Universität Bremen geht hervor, dass Studierende im ersten Semester Probleme bei der Anwendung von STELLA haben (SANDER 1999). Die Studierenden der vorliegenden Untersuchung befanden sich bereits im dritten Semester. Möglicherweise hilft eine höhere physikalische Kompetenz den Studierenden, die dem Modellbildungssystem zugrunde liegenden Prinzipien zu verstehen.

7-5 ERGEBNISSE DES COMPUTER-FRAGEBOGENS

Wie im letzten Kapitel erwähnt, wurde zu Beginn des Anfängerpraktikums unter allen Drittsemestern ein kurzer Fragebogen zu Computerkenntnissen und zur Einstellung zum Computer erhoben (siehe Anhang 2). 45 Studierende (von 54) haben den Fragebogen beantwortet.

Demnach arbeiteten 95% der Befragten wenigstens ab und zu mit dem Computer, etwa genauso viele Personen hatten einen eigenen PC. Die Zahlen zeigen, dass hinsichtlich der computerbezogenen Vorkenntnisse der Studierenden der PC bedenkenlos im physikalischen Anfängerpraktikum eingesetzt werden kann. Keine der Vpn kannte die in der Untersuchung zum Einsatz kommenden Programme. Trotzdem konnten sie sich problemlos in die Benutzung einarbeiten.

70% der Befragten gaben außerdem an, gerne mit dem Computer zu arbeiten, und über 60% waren der Meinung, dass der Computer häufiger im Physikstudium eingesetzt werden solle. Dies ergänzt die Ergebnisse der Umfrage von GIRWIDZ (1994; siehe Kap. 3-1), wonach viele Studierende einen regelmäßigen Computereinsatz im Physikstudium erwarten. Es macht auch plausibel, dass die meisten Studierenden, die sich aus Interesse zur Teilnahme an der Untersuchung gemeldet hatten, unbedingt mit dem Computer arbeiten wollten (s.o.).

Kapitel 8

ANALYSE DER VIDEODATEN

8-1 KONZEPT DER ANALYSE

Anhand der Videoaufzeichnungen werden die Handlungen der Studierenden während der Praktikumsarbeit untersucht. Je nach Vpn und Versuch dauert die Durchführung eines der beiden ausgewählten Praktikumsexperimente zwischen 3 und 5 Stunden. Genauso lange dauert die Auswertung der Versuche inklusive der Erstellung des Versuchsprotokolls. Damit stehen pro Vpn etwa 6-10 Stunden Videomaterial zur Auswertung zur Verfügung.

Die Videodaten werden einer kategoriegeleiteten Analyse (FLICK 1995) unterzogen. Dabei kommen zwei Klassen von Kategorien zum Einsatz. Jede Klasse kann als ein in sich abgeschlossenes Kategoriesystem betrachtet werden.

(1) Die erste Klasse von Kategorien dient der Erfassung der verschiedenen Tätigkeiten der Studierenden während der Praktikumsarbeit. Es handelt sich um neun voneinander unabhängige Kategorien. Jede Tätigkeit einer Vpn lässt sich genau einer der Kategorien zuordnen. *Schreiben*, *Manipulieren* oder *Modellbildung* sind Beispiele für diese Kategorien. Sie werden über induktive Kategoriebildung (MAYRING 1997) aus den Daten selbst abgeleitet.

(2) Die zweite Klasse von Kategorien dient der Einteilung der Sprechhandlungen der Studierenden während der Praktikumsarbeit. Es handelt sich um sechs Kategorien, die nicht voneinander unabhängig sind. Einer Sprechhandlung können bis zu drei Kategorien gleichzeitig zugeordnet werden. Die Sprechhandlungen werden dabei sowohl bezüglich ihres Inhaltsbereichs als auch bezüglich ihrer Komplexität charakterisiert. *Objektbezogen*, *Physikbezogen* oder *Theoriebezogen* sind Beispiele für

diese Kategorien. Sie leiten sich aus den in Kapitel 4 dargestellten theoretischen Überlegungen ab.

Mit diesen insgesamt 16 Kategorien wird der „Verhaltensstrom“ kodiert. Das heißt, die Kategorien werden im Zeitverlauf den Handlungen zugeordnet (ASENDORPF & WALLBOTT 1979) (Abb. 8.1). Dabei wird jede Vpn einzeln beobachtet.

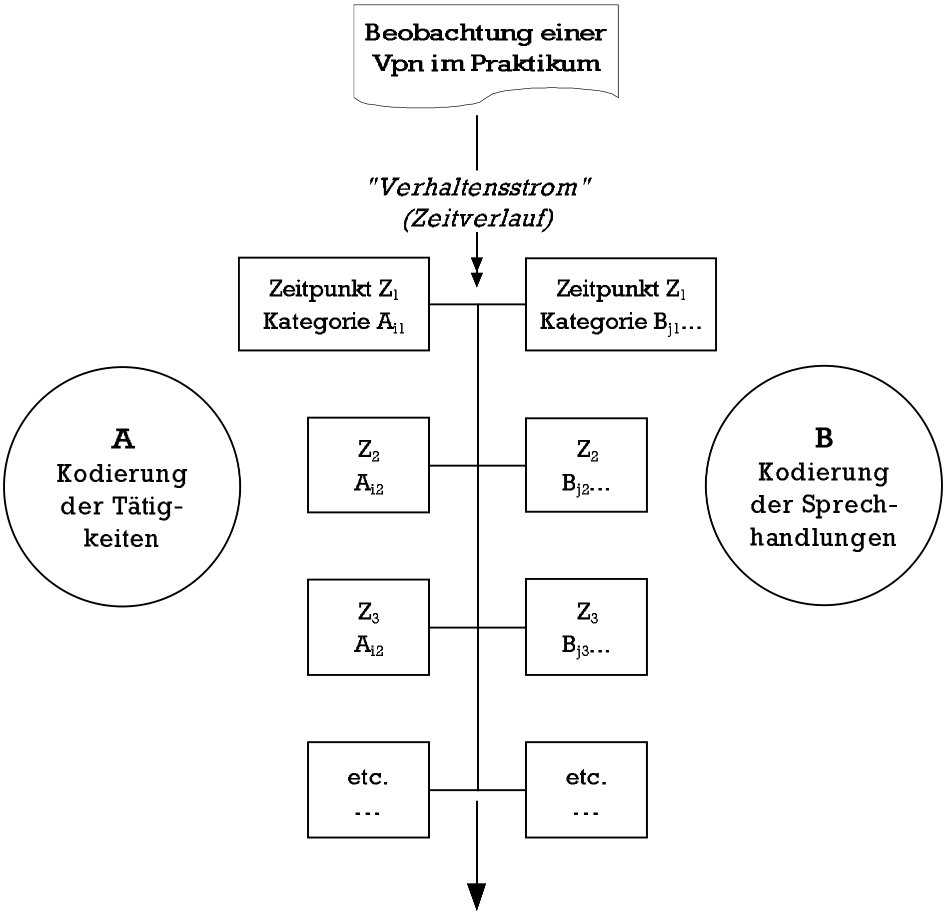


Abbildung 8.1: Kodierung des „Verhaltensstromes" im Zeitverlauf mit Hilfe der ategoriesysteme A (9 Kategorien; i=1-9) und B (6 Kategorien; j=1-6). Jeder Tätigkeit wird genau eine Kategorie aus A zugeordnet. Einer Sprechhandlung können bis zu drei Kategorien aus B gleichzeitig zugeordnet werden.

Wahl des Kodierungszeitraums

Nach FLICK (1995) muss der Abstand der Kodierungszeitpunkte an den Analysegegenstand angepasst werden. Ziel der hier beschriebenen Methode ist die Analyse der vollständigen Videoaufzeichnungen der Praktikumsarbeit. Dies kann wegen des großen Umfangs des Datenmaterials nur durch eine Analyse in Echtzeit oder nahezu Echtzeit realisiert werden. Bei einem solchen Vorgehen ist eine Rekonstruktion der Sinnzusammenhänge der Handlungen nicht möglich. Statt dessen wird die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Handlungen erfasst. Dabei muss ein Kompromiss gefunden werden zwischen einem möglichst kleinen, alle Handlungen erfassenden Abstand zwischen den Kodierungen, und einem ausreichend großen Abstand, der die Analyse in

Echtzeit ermöglicht. Ein Zeitschritt von 30 Sekunden erweist sich als geeignet. Es ist der kleinstmögliche Beobachtungszeitraum, bei dem ein Beobachter gleichzeitig sowohl die Art der Tätigkeit als auch die auftretenden Sprechhandlungen zuverlässig erfassen kann.

Art der Ergebnisse

Mit Hilfe des Kategoriesystems A (Abb. 8.1) können Aussagen darüber getroffen werden, wie viel Zeit auf welche Tätigkeiten im Praktikum verwandt wird, und worin sich diesbezüglich die verschiedenen Lernumgebungen unterscheiden. Mit Hilfe des Kategoriesystems B können Aussagen darüber getroffen werden, mit welchen Inhaltsbereichen sich die Studierenden während der Praktikumsarbeit vorwiegend auseinandersetzen, und ob physikalisch-theoretische Konzepte bei der Handlungsregulation zum Einsatz kommen. Durch die zeitbezogene Verknüpfung beider Kategoriensysteme können Aussagen darüber getroffen werden, welche Tätigkeiten im Praktikum besonders förderlich oder besonders hemmend für die Auseinandersetzung mit bestimmten Inhaltsbereichen sind.

Damit wird erstmals in der Naturwissenschaftsdidaktik ein Verfahren eingesetzt, das den handlungstheoretisch begründeten Verfahren zur Tätigkeitsanalyse, wie sie in der Arbeitspsychologie eingesetzt werden, vergleichbar ist. Dort kann man mit SCHULER (1995) zwei Arten der Analyse und Bewertung von Arbeitstätigkeiten unterscheiden: Arbeitsablaufanalysen und psychologische Tätigkeitsanalysen. Mit Arbeitsablaufanalysen wird die Oberflächenstruktur von Tätigkeiten erfasst. Sie liefern Informationen über Art und zeitliche Struktur von Teiltätigkeiten eines Arbeitsauftrags. Mit psychologischen Tätigkeitsanalysen und -bewertungen wird die Tiefenstruktur einer Tätigkeit erfasst. Sie zielt auf die Analyse der psychischen Regulationsvorgänge der Handlung (vgl. HACKER 1986). Diese sind der direkten Beobachtung nicht zugänglich und müssen aus den Aufgaben, den Bedingungen und dem Vollzug der Tätigkeit erschlossen werden (SCHULER 1995, 178). Durch die Anwendung solcher Verfahren werden in der Arbeitspsychologie Tätigkeiten im Hinblick auf die kognitive Beanspruchung der ausführenden Personen bewertet. Die aus der Analyse gewonnenen Informationen werden benutzt, um Arbeitsbedingungen zu verbessern und persönlichkeitsfördernd zu gestalten.

Die hier verwendeten Kategoriesysteme entsprechen in ihrer Zielsetzung diesen Methoden. Auf der einen Seite wird die Oberflächenstruktur der Tätigkeiten im Praktikum untersucht. Auf der anderen Seite werden Informationen über die an der Handlungsregulation beteiligten kognitiven Strukturen der Studierenden gewonnen. Mit Hilfe der Analyse-Ergebnisse kann die Lernförderlichkeit des Praktikums bewertet und verbessert werden.

Rolle der Sprache

Dem beschriebenen Konzept der Videoanalyse liegt die Annahme zugrunde, dass handlungsleitende Kognitionen sich in der Sprache manifestieren. HUBER und MANDL (1982) gehen davon aus, dass die Analyse von Verbalhandlungen die beste Möglichkeit ist, Aufschluss über handlungsleitende Kognitionen zu erhalten. Es gibt hierfür verschiedene Verbalisationsmethoden vor, während oder nach der Handlung. Alle diese Methoden sind mit Einschränkungen verbunden. Die in dieser Untersuchung eingesetzte Dokumentenanalyse bietet gegenüber anderen Methoden zwei Vorteile: Die Verbalisierung wird nicht durch die Interaktion mit dem Forscher beeinflusst, und das Dokument ist in einem natürlichen Handlungskontext entstanden. Es besitzt damit eine ökologische Validität gegenüber künstlichen Erhebungssituationen (HUBER & MANDL 1982, 167). Entscheidend für eine gültige Analyse ist dabei, dass der Forscher den Entstehungskontext seines Materials kennt, um mögliche Sichtweisen und Absichten der beobachteten Personen zu erkennen. Diese Voraussetzung ist bei der vorliegenden Untersuchung gegeben.

Eine triviale Voraussetzung für die Anwendbarkeit einer solchen Methode ist, dass Sprechhandlungen vorliegen. Voraussetzung für die Validität der Methode ist außerdem, dass genügend Sprechhandlungen vorliegen, um in hinreichend vielen Beobachtungszeiträumen eine Information über die handlungsleitenden Kognitionen einer Vpn zu erhalten. Die Studierenden arbeiten im Praktikum in Zweiergruppen und kommunizieren fast während der gesamten Praktikumsarbeit. Es zeigt sich, dass im Durchschnitt in etwa 86% aller Zeitschritte eines Praktikumsversuchs kodierbare Sprechhandlungen einer Vpn auftreten. Des Weiteren liegen von jeder Vpn Videodaten im Umfang von mindestens 160 Minuten (320 Zeitschritte) vor. Es wird daher angenommen, dass die kodierbaren Daten ausreichen, um gültige Analyseergebnisse zu erzielen. Dabei gibt es unter den Vpn lediglich eine auffallende Ausnahme: Diese Vpn kommuniziert nur in 45% der Zeitschritte. Die betreffenden Analyseergebnisse werden in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Ferner wird, wie bereits in Kapitel 6-2 angedeutet, angenommen, dass das Reden über Physik ein Indikator für Physiklernen ist. Diese Annahme begründet sich zum einen aus den in Kapitel 4 beschriebenen theoretischen Überlegungen. Danach kann im Praktikum dann etwas über physikalische Konzepte gelernt werden, wenn sie zur Handlungsregulation benutzt werden. Das Auftreten physikalischer Konzepte in einer Sprechhandlung zeigt, dass diese Vorraussetzung erfüllt ist. Zum anderen lässt sich die Annahme, dass das Reden über Physik große Bedeutung für das Physiklernen hat, mit Hilfe sozial-konstruktivistischer Lerntheorien begründen (z.B. BLISS 1996; ROTH et al. 1997). Danach werden Bedeutungen im sozialen Kontext konstruiert. Die Sprache ist dabei ein wichtiges Werkzeug, weil sie den Fluss und die Struktur der geistigen Funktionen beeinflusst (VYGOTSKY 1981, nach BLISS 1996). Diese Feststellungen gelten natürlich in gleichem Maße für physikalische wie für nicht-physikalische Inhaltsbereiche.

Im Folgenden werden zunächst die Kategorien A (Abb. 8.1) zur Erfassung der Tätigkeiten im Praktikum vorgestellt und ihre Operationalisierung beschrieben. Anschließend werden die Kategorien B zur Erfassung der kognitiven Anteile der Praktikumsarbeit aus der Theorie abgeleitet und operationalisiert. Zum Schluss des Kapitels wird die Durchführung der Videoanalyse beschrieben und ein Überblick über die so gewonnenen Daten gegeben. Dabei wird auch die Überprüfung der Beobachterübereinstimmung dokumentiert.

8-2 KODIERUNG DER TÄTIGKEITEN

Zur Beschreibung der Tätigkeiten der Studierenden bei der Praktikumsarbeit werden neun unabhängige Kategorien verwendet (Tab. 8.1). Diese Kategorien decken das gesamte Tätigkeitsspektrum im Praktikum ab. Das bedeutet, dass für *jeden* Zeitschritt den Handlungen der Studierenden eine dieser Kategorien zugeordnet wird.

KATEGORIE			BESCHREIBUNG	BEISPIEL
1	X	Praktikumsfremde Tätigkeit	Die Tätigkeit hat nichts mit dem Praktikumsexperiment zu tun, oder die Vpn ist abwesend.	Die Vpn essen etwas und unterhalten sich dabei über die letzte Klausur.
2	3P	3. Person	Es wird mit einer dritten Person kommuniziert. (In fast allen Fällen handelt es sich dabei um den Betreuer).	Der Betreuer hilft bei technischen Problemen.
3	LG	Versuchsanleitung (Labguide)	Die Vpn beschäftigt sich mit der schriftlichen Versuchsanleitung.	Die Vpn greift zur Versuchsanleitung und liest darin.
4	SL	Schreiben bzw. Lesen	Ein Text oder Daten werden abgeschrieben oder übertragen, oder eine Wertetabelle wird angelegt.	Auf Papier festgehaltene Werte werden in den Computer eingegeben.
5	MA	Manipulieren	Der Versuchsaufbau wird manipuliert, oder es wird eine Probemessung ohne Werteaufnahme gemacht.	Eine Schaltung wird aufgebaut; Ein Messbereich wird eingestellt.
6	ME	Messen	Es werden Messwerte aufgenommen, oder es wird auf die Anzeige von Messwerten gewartet.	Eine Lissajous-Ellipse wird aufgenommen.
7	DM	Datenbearbeitung	Aufgenommene Messdaten werden manipuliert (z.B. umgerechnet), oder ihre Darstellungsweise wird geändert.	Aus einer ORIGIN-Wertetabelle wird ein Graph erstellt.
8	MB	Modellbildung	Modellbildung: Beziehungen zwischen Modellgrößen werden aufgestellt oder verändert (*expressive mode*; Kap. 3-3).	Im STELLA-Modell wird das Vorzeichen der Reibungskraft verändert.
9	CMA	Computermanipulation	Es treten Probleme bei der Bedienung der Software auf, oder es wird etwas formatiert oder abgespeichert.	Eine falsch angeklickte Funktion wird wieder rückgängig gemacht.

Tabelle 8.1: Beschreibung der Kategorien A zur Erfassung der Tätigkeiten der Studierenden im Praktikum.

In diesem und in den folgenden Kapiteln müssen häufig Abkürzungen verwendet werden. Möglicherweise empfiehlt es sich daher zum besseren Textverständnis während der weiteren Lektüre, diese Übersicht (wie auch Tabelle 8.2, S. 61) zu kopieren, um sie immer zur Hand zu haben.

Operationalisierung der Kategorien A

Die Zuordnung der Kategorien zu den Tätigkeiten richtet sich nach genauen Vorgaben, um eine hinreichende Beobachterübereinstimmung zu gewährleisten. Dazu werden für jede Kategorie möglichst viele konkrete Verhaltensweisen, die in diese Kategorie fallen, als Ankerbeispiele (MAYRING 1997) beschrieben. Ebenso wird für jede Kategorie eine Reihe konkreter Verhaltensweisen, die *nicht* in die Kategorie fallen, beschrieben. Ferner werden Kodierregeln zur Abgrenzung der Kategorien untereinander aufgestellt. Die Kodierregeln kommen in Zweifelsfällen zum Einsatz. Zweifelsfälle können unter anderem auftreten, wenn innerhalb eines Beobachtungszeitraumes von 30 s zwei oder mehr verschiedene Tätigkeiten mit etwa gleich großen zeitlichen Anteilen beobachtet werden. Die Regeln legen fest, welche Kategorien in solchen Fällen jeweils vorzuziehen sind. Das genaue Vorgehen ist in Abschnitt 8-4 über die Durchführung der Analyse (siehe S. 64) beschrieben. Die detaillierte Beschreibung der Kategorien und die Kodierungsvorschriften finden sich in Anhang 3.

Tätigkeiten mit dem Computer

Die Tätigkeitskategorien A können gleichermaßen auf traditionelle wie auf computergestützte Praktikumsarbeit angewandt werden. Zum Beispiel müssen auch bei der Verwendung des Programms zur Messwerterfassung (CASSY) Messbereiche eingestellt werden. Diese Tätigkeit wird demnach mit MA kodiert. Auch auf die Arbeit mit dem Modellbildungssystem werden die Kategorien im Sinne ihrer jeweiligen Definition angewandt:

- Das Durchführen eines Simulationslaufes unter Ausgabe eines Graphen (*exploratory mode*; siehe Kap. 3-3) wurde mit ME kodiert, da es sich um eine dem Aufnehmen von Messwerten analoge Tätigkeit handelt.
- Die Eingabe verschiedener Parameterwerte und anderer Simulationsbedingungen (ebenfalls *exploratory mode*) wurde analog zur Einstellung von Messbereichen behandelt und mit MA kodiert.

Auf der Ebene einer reinen Tätigkeitsbeschreibung ist dieses Vorgehen plausibel. Man muss allerdings vermuten, dass auf kognitiver Ebene der Umgang mit dem Modellbildungssystem eine andere Qualität besitzt als der Umgang mit realen Versuchsaufbauten. Dies wurde bei der den kognitiven Aspekt der Praktikumsarbeit erfassenden Kodierung der Sprechhandlungen berücksichtigt. Das genaue Vorgehen geht aus Abschnitt 8-3 hervor.

8-3 KODIERUNG DER SPRECHHANDLUNGEN

Die Anwendung der Kategorien B (Abb. 8.1) soll Aufschluss darüber geben, welche kognitiven Leistungen die Studierenden bei der Handlungsregulation im Praktikum erbringen, und welche Inhaltsbereiche dabei berührt werden. Die Kategorien lassen sich aus den in Kapitel 4 dargestellten theoretischen Überlegungen zum Physiklernen im Praktikum ableiten. Dort wurden unter anderem drei relevante Inhaltsbereiche herausgearbeitet: der technische, der methodische und der physikalische Inhaltsbereich.

Darüber hinaus wurden in jedem Inhaltsbereich zwei Stufen der Komplexität der Handlungsregulation beschrieben: objektbezogenes Handeln (deskriptive kognitive Ebene) und konzeptbezogenes Handeln (abstrakte kognitive Ebene).

Theoretische Ableitung der Kategorien B

Beide Aspekte - Inhaltsbereiche und Komplexitätsniveaus - finden sich im hier beschriebenen Kategoriesystem wieder. Allerdings werden der technische und der methodische Inhaltsbereich zusammengefasst und von nun an als *Inhaltsbereich Messung* bezeichnet. Dieser Schritt ist notwendig, da andernfalls das Kategoriesystem zu komplex würde und unter den vorgegebenen Analysebedingungen, insbesondere zeitgleich mit den Tätigkeitskategorien, nicht mehr anwendbar wäre. Aus dem selben Grund kann mit den Kategorien keine Unterscheidung zwischen Ebenen der Handlungsregulation nach DÖRNER (planendes Denken vs. Exploration; siehe Kap. 4) getroffen werden. Dieser Aspekt wird in der Ergebnisdiskussion wieder aufgegriffen (Kap. 12).

Es wird deutlich, dass für die eingesetzte Methode zur Videoanalyse ein Kompromiss zwischen theoretischem Anspruch und praktischer Umsetzbarkeit des Kategoriesystems gefunden werden muss. Da im Mittelpunkt der Untersuchung das *Physik*lernen im Praktikum steht, wird mit dem Kategoriesystem nur im physikalischen Inhaltsbereich eine Unterscheidung bezüglich der beiden Komplexitätsebenen getroffen. Der Inhaltsbereich Messung wird ohne diese Differenzierung erfasst. Ferner werden Sprechhandlungen, die gar nichts mit dem jeweiligen Praktikumsexperiment zu tun haben, gesondert kodiert. Insgesamt ergeben sich die in Abbildung 8.2 (nächste Seite) dargestellten sechs Kategorien. Die Kategorien B werden einer beobachteten Sprechhandlung in zwei Schritten zugeordnet: Zunächst wird entschieden, ob die Sprechhandlung sich auf das Praktikumsexperiment bezieht. Dann wird entschieden, ob die Sprechhandlung in einen der Inhaltsbereiche Physik oder Messung fällt.

Die Inhaltsbereiche lassen sich durch charakteristische Fragestellungen beschreiben. Sprechhandlungen, die in den Inhaltsbereich Messung fallen, beziehen sich auf die Frage „Wie kommt man zu gültigen Messergebnissen?“ bzw. „Wie werden die physikalischen Größen gemessen?“. Sprechhandlungen, die in den Inhaltsbereich Physik fallen, enthalten physikalische Konzepte. Auf der deskriptiven Ebene beziehen sie sich auf die Frage „Welche physikalischen Größen sind beteiligt?“. Auf der abstrakten Ebene geht es um die Frage „Wie sind die physikalischen Zusammenhänge?“. Es kann auch der Fall auftreten, dass eine Sprechhandlung versuchsbezogen ist, aber in keinen der beiden Inhaltsbereiche Messung oder Physik fällt. In diesem Fall werden Objekte manipuliert, Ereignisse beobachtet oder Handlungsprogramme ausgeführt, ohne dass die handlungsleitenden Kognitionen physikalische oder methodische Aspekte des Praktikumsexperiments berühren. Es wird dann nur die Kategorie O (bzw. D) kodiert (vgl. Abb. 8.2 u. 8.3).

Sprechhandlungen

↙ ↘

<table>
<tr><td></td><td colspan="2">VERSUCHSBEZOGENE</td><td>ANDERE</td></tr>
<tr><td>Zuordnungs-schritt 1</td><td colspan="2">Kategorie O bzw. D</td><td>Kategorie X</td></tr>
<tr><td></td><td>INHALTSBEREICH PHYSIK</td><td>INHALTSBEREICH MESSUNG</td><td></td></tr>
<tr><td>Zuordnungs-schritt 2</td><td>Kategorie P
deskriptive Ebene | Kategorie PP
*abstrakte Ebene**</td><td>Kategorie M</td><td></td></tr>
</table>

Abbildung 8.2: Kategorien B zur Kodierung der Sprechhandlungen während der Praktikumsarbeit. Die Kategorien O (bzw. D; zur Erläuterung des Unterschieds s.u.) und X erfassen, ob eine Sprechhandlung sich auf das Praktikumsexperiment bezieht oder nicht. Die Kategorien M, P und PP leiten sich aus den in Kapitel 4 dargestellten theoretischen Überlegungen ab (**manipulating ideas*; LUNETTA 1998).

Nach diesem Schema, und unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 dargestellten theoretischen Grundlagen, können die einzelnen Kategorien wie folgt interpretiert werden (Abb. 8.3):

X: Die handlungsleitenden Kognitionen beziehen sich nicht auf das Praktikumsexperiment.

O bzw. **D**: Die handlungsleitenden Kognitionen beziehen sich auf das Praktikumsexperiment. Sie berühren aber weder den physikalischen noch den messbezogenen Inhaltsbereich.

M: Die handlungsleitenden Kognitionen berühren den Inhaltsbereich Messung.

P: Die handlungsleitenden Kognitionen berühren den Inhaltsbereich Physik. Die Handlungsregulation findet bezüglich dieses Inhaltsbereichs aber auf einer deskriptiven Ebene statt (niedrige Komplexität). Es werden keine physikalischen Konzepte zueinander in Beziehung gesetzt.

PP: Die handlungsleitenden Kognitionen berühren den Inhaltsbereich Physik. Die Handlungsregulation findet bezüglich dieses Inhaltsbereichs auf einer abstrakten Ebene statt (hohe Komplexität). Es werden physikalische Konzepte zueinander in Beziehung gesetzt (*manipulating ideas*). Damit ist eine Grundvoraussetzung für (physikalisch-) theoriegeleitetes Handeln erfüllt.

Abbildung 8.3: Bedeutung der Kategorien zur Kodierung der Sprechhandlungen (siehe auch Abb. 8.2). Zur Komplexität siehe Kapitel 4-1 bzw. FISCHER (1994).

Operationalisierung der Kategorien B (erster Schritt)

In einem ersten Operationalisierungsschritt wird definiert, bei welcher Art von Äußerung die jeweilige Kategorie zutreffen soll. Zu jeder Kategorie werden Beispiele aus dem Datenmaterial gesammelt. Es ergeben sich die in Tabelle 8.2 dargestellten Kategoriebeschreibungen.

KATEGORIE			BESCHREIBUNG	BEISPIEL
1	O	Objekt, Ereignis, Handlungsprogram m	Äußerung bezieht sich auf ein reales Objekt oder Ereignis, oder ist ein entsprechendes Handlungsprogramm	„Lass uns mal das rote Kabel nehmen."
2	D	Daten, Formel, Handlungsprogramm	Äußerung bezieht sich auf aufgenommene Daten, auf Text (Symbole), oder ist ein entsprechendes Handlungsprogramm	„Kopier die Werte mal hier rüber."
3	M	Messbezogen	Äußerung fällt in den Inhaltsbereich Messung	„Wir brauchen mehr Messwerte."
4	P	Physikbezogen	Äußerung fällt in den Inhaltsbereich Physik; sie enthält ein physikalisches Konzept	„Lies doch mal die Phase ab."
5	PP	Theoriebezogen	Äußerung fällt in den Inhaltsbereich Physik; sie enthält einen Zusammenhang zwischen physikalischen Konzepten	„Die Amplitude ist von der Frequenz abhängig."
6	X	Versuchsfremd	Äußerung hat keinen Versuchsbezug.	„Was gab's denn heute in der Mensa?"

Tabelle 8.2: Beschreibung der Kategorien B zur Kodierung der Sprechhandlungen der Studierenden im Praktikum.

Rolle der Kategorien O und D

Bereits aus Abbildung 8.2 (S. 60) geht hervor, dass die beschriebenen Kategorien nicht voneinander unabhängig sind. Zum Beispiel kann eine der Kategorien M, P oder PP nur kodiert werden, wenn auch eine der Kategorien O oder D kodiert wird (wenn die Sprechhandlung versuchsbezogen ist). Dabei haben die Kategorien O und D eine doppelte Funktion. Einerseits charakterisieren sie eine Sprechhandlung als versuchsbezogen (im Gegensatz zu versuchsfremden Äußerungen). Andererseits wirken sie wie ein Filter: Sprechhandlungen, die sich auf *reale Objekte und Ereignisse* im Praktikum beziehen, werden von Sprechhandlungen, die sich auf *Text oder Symbole*, wie etwa bereits aufgenommene Messwerte, beziehen, getrennt. Mit dieser Anwendung der Kategorien O und D werden zwei Ziele verfolgt:

- Es kann untersucht werden, inwieweit die Durchführung des realen Experiments notwendig ist, um bestimmte Handlungsweisen zu fördern. Sprechhandlungen, die mit D kodiert werden, treten auch auf, wenn nicht mit realen Objekten experimentiert wird. Es würde z.B. genügen, den Studierenden Datenreihen zur Auswertung zu geben.

- Die Arbeit mit dem Modellbildungssystem im *exploratory mode* (vgl. S. 58) wird vom Messen und Manipulieren bei der „realen“ Praktikumsarbeit getrennt. Da im Modellbildungssystem nur Symbole manipuliert werden, werden diesbezügliche Sprechhandlungen immer mit D kodiert.

Definition der zu kodierenden Sprechhandlungen

Als Sprechhandlung werden verbale Äußerungen von Personen bezeichnet. Sie treten im Praktikum auf, weil die in Zweiergruppen arbeitenden Vpn miteinander kommunizieren. Dabei gibt es Situationen, in denen eine Vpn selbst keine explizite Sprechhandlung ausführt, sondern als „Empfänger“ am Kommunikationsprozess beteiligt ist. Da bei der Videoanalyse jede Vpn einzeln beobachtet wird, ist es wichtig, diese Situationen zu berücksichtigen, um gültige Aussagen über die kognitive Beanspruchung der Studierenden im Praktikum machen zu können (Tiefenstruktur der Tätigkeit, s.o.). Als Sprechhandlung werden daher auch Äußerungen betrachtet, mit denen die beobachtete Vpn zu erkennen gibt, dass sie ihre Aufmerksamkeit auf die Sprechhandlung des Gegenübers richtet. Dafür kann zum Beispiel ein kurzes „ja“ oder „nein“ genügen. Kodiert wird dann die Sprechhandlung des Praktikumpartners bzw. des Betreuers. Sie wird beiden beteiligten Personen zugeschrieben (Tabelle 8.3).

VPN 1 (NICHT BEOBACHTET)	VPN 2 (BEOBACHTET)	SPRECHHANDLUNG VON VPN 1 AUCH FÜR VPN 2 KODIERT?
„Fahr mal die Frequenz hoch!“	*Fährt die Frequenz hoch, sagt nichts, keine Gestik*	nein
„Wie ist das?: Wir legen den Schutzwiderstand dahin...“	„Klar, dann sinkt die Spannung.“	ja
„Der Nullpunkt muss weiter runter.“	„Hm, ich weiß nicht.“	ja
„Hast du die Amplitude schon abgelesen?“	„Warte mal, ich rechne grade.“	nein

Tabelle 8.3: Beispiele zur Illustration des Vorgehens bei der Kodierung der Sprechhandlungen in einer Zweiergruppe. Jede Vpn wird einzeln beobachtet. Ihr wird die Sprechhandlung des Partners ebenfalls zugeschrieben, wenn ihre Antwort sich auf dessen Äußerung bezieht.

Gleichzeitiges Zutreffen von Kategorien

Während eines Beobachtungszeitraumes von 30 s können auch mehrere Verbalkategorien zutreffen. Dies ist der Fall, wenn die Sprechhandlungen einer Vpn sich auf verschiedene Inhaltsbereiche beziehen. Die Anwendungsbeispiele in Tabelle 8.4 verdeutlichen das Prinzip, nach dem bestimmten Äußerungen der Vpn verschiedene Kategorien oder Kategoriekombinationen zugeordnet werden. Weitere Beispiele finden sich in Anhang 3.

BEISPIELE FÜR SPRECHHANDLUNGEN	KODIERUNG
„Schau mal, wie das Pendel schwingt!“	O
„Hast du die Amplitude schon abgelesen?“	P
„Der Knopf hier ist für hohe, der andere für niedere Frequenzen.“	P
„Wie ist das?: Wir legen den Schutzwiderstand da hin...“	M
„Ok, wir können die Messung starten.“	M
„Fahr mal die Frequenz hoch!“	M P
„Der Motor kann ja gar keine Phasenverschiebung über 90 Grad liefern.“	M P
„Wieso, die Periodendauer ist doch nicht amplitudenabhängig, oder?“	PP
„Die Phase ist die Zeit zwischen den Nulldurchgängen.“	M PP

Tabelle 8.4: Kodierung der Kategorien für Beispiele von Sprechhandlungen (die Beispiele entstammen den Videodaten).

Operationalisierung (zweiter Schritt)

Die bisherige Beschreibung der Kategorien reicht für eine zuverlässige Anwendung bei der Analyse nicht aus. Der Hauptunsicherheitsfaktor liegt in der Beurteilung, ob eine Äußerung messbezogen, physikbezogen oder theoriebezogen ist. Damit nicht verschiedene Beobachter zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, bedarf es genauer Vorschriften, welche Sprechhandlungen mit welchen Kategorien kodiert werden sollen.

Hierfür wird die Kodierung an „Indikatoren“ geknüpft. Dabei handelt es sich um bestimmte, für die Kategorien jeweils typische Klassen von Begriffen. Das Auftreten eines entsprechenden Indikators in einem Beobachtungszeitraum wird als notwendige Bedingung für das Kodieren der Sprechhandlung mit einer Kategorie festgelegt.

- Indikatoren für die Kategorie M sind z.B. die Ausdrücke: *Messbereich, Amplitudenschritte, einstellen, Genauigkeit, bestimmen, Ergebnis, genau, Grad, Regression, Messwert, Y-Eingang, Hertz, Nullpunkt,* etc.
- Indikatoren für die Kategorien P und PP sind z.B. die Ausdrücke: *Drehmoment, Kraft, Dämpfung, Phasensprung, Einschwingvorgang, Frequenz, Auslenkung, harmonisch, stationär, zeitlicher Verlauf, Spannung,* etc. Bedingung für das Kodieren der Kategorie PP ist dann, dass mindestens zwei dieser Indikatoren zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Vergleichbar dem Vorgehen bei den Tätigkeitskategorien A werden auch hier für jede Kategorie möglichst viele konkrete Verhaltensweisen beschrieben, die in diese Kategorie fallen. Zur besseren Abgrenzung der Kategorien werden Gegenindikatoren aufgelistet und Kodierregeln aufgestellt, die in Zweifelsfällen (wenn die Zuordnung nicht eindeutig erscheint) anzuwenden sind. Die detaillierte Beschreibung der Kategorien und die Kodierungsvorschriften sind in Anhang 3 dokumentiert. Dort findet sich auch eine ausführlichere Liste von Indikatoren.

Während die aus theoretischen Überlegungen abgeleiteten Kategorien eine allgemeine inhaltliche Gültigkeit besitzen, muss, wie in diesem Abschnitt deutlich wird, die Operationalisierung der Kategorien eng an den Analysekontext angepasst werden. Für diese Untersuchung wurde sie spezifisch für die beiden betrachteten Praktikumsexperimente durchgeführt. Für andere Analyseinhalte müssten die Vorschriften entsprechend verändert werden. Die Anwendungsvorschriften entstanden in einem mehrere Wochen dauernden Arbeitsprozess. Sie erweisen sich als essentiell für eine zuverlässige Anwendung der Kategorien.

8-4 DURCHFÜHRUNG DER ANALYSE

Zur Videoanalyse wurde ein Analysebogen eingesetzt. In ihm sind von oben nach unten die Zeitschritte aufgetragen, und von links nach rechts die oben beschriebenen Kategorien (Abb. 8.4).

Ein Videoband wurde jeweils von zwei Ratern, die vor der Analyse mehrere Wochen lang trainiert hatten, zeitgleich bearbeitet. Erst nach Erfüllung des Kriteriums der Zuverlässigkeit der Beobachtung (s.u.) wurde das Training beendet und mit der eigentlichen Analyse begonnen. Die gesamten Daten wurden dann in einem regelmäßigen Rhythmus (zwei Sitzungen pro Woche) analysiert. Damit wurde eine Beeinträchtigung der Analyse durch Vergessen der Anwendungsregeln verhindert.

Zeit	Tätigkeiten									Sprechhandl.						
	X	3P	LG	SL	MA	ME	DM	MB	CMA	O	D	M	P	PP	X	Bemerkungen
0		X								X		X	X			
		X								X		X		X		
1			X							X						
						X				X		X				
2						X				X						
						X				X						
3					X											
					X					X						
4									X	X						
						X				X			X			
5						X				X		X				
						X				X						
6						X									X	
	X														X	

Abbildung 8.4: Ausschnitt aus dem eingesetzten Analysebogen. Nach jedem Beobachtungszeitraum von 30 Sekunden wird ein Kreuz für die zutreffende Tätigkeitskategorie, und - bei Auftreten einer Sprechhandlung - mindestens ein Kreuz für die zutreffende(n) Verbalkategorie(n) eingetragen.

Die Bearbeitung eines Videobandes (Länge: 3-6 h) dauert zwischen 4 und 8 Stunden. Jeder Rater beobachtet eine Vpn der betreffenden Zweiergruppe. Alle 30 Minuten wird eine Pause gemacht. Die Pause wird genutzt, um unklare Situationen wiederholt anzusehen und, bei bleibender Unklarheit, die Kodierung auszuhandeln. Dabei wird streng im Sinne der Definition und der Operationalisierung der Kategorien argumentiert.

Zusammenhang zwischen den Kategoriesystemen

Oberstes Kriterium bei der Kodierung ist die Zuordnung der Sprechhandlungen zur zugehörigen Tätigkeit. Es kommt zur Anwendung, wenn innerhalb eines Kodierungszeitraumes von 30 s mehre Tätigkeiten zu gleichen zeitlichen Anteilen beobachtet werden. Diese Fälle sind in der Praxis selten. In der Regel sind die Handlungen eindeutig einer Tätigkeitskategorie zuzuordnen. Trotzdem muss in einem solchen Fall eine Entscheidung für eine der Tätigkeiten getroffen werden. Insbesondere muss, wenn es im gleichen Beobachtungszeitraum auch verschiedene Sprechhandlungen gibt, diejenige Sprechhandlung kodiert werden, die zusammen mit dieser Tätigkeit auftritt.

Hinter diesem Kriterium steckt die Annahme, dass bestimmte Tätigkeiten im Praktikum die Nutzung bestimmter kognitiver Strukturen zur Handlungsregulation fördern (s.o.; vgl. auch Kap. 6-2). Es wird ein kausaler Zusammenhang zwischen Tätigkeit und handlungsleitenden Kognitionen (und damit den Sprechhandlungen) angenommen. Der Zusammenhang lässt sich handlungstheoretisch begründen (Kap. 4). Die Ergebnisse der Analyse sollen Aussagen über die Wirkung dieses Zusammenhangs im physikalischen Praktikum ermöglichen. Da dies über die Auswertung des Analysebogens geschieht, ist die adäquate Zuordnung von Tätigkeit und Sprechhandlung von großer Bedeutung.

Um das Kriterium zu erfüllen, und um eine unterschiedliche Kodierung ähnlicher Situationen durch die beiden Beobachter zu vermeiden, wird ein Regelsystem zur Prioritätensetzung aufgestellt. In strittigen Fällen werden diejenigen Tätigkeiten und Sprechhandlungen bevorzugt kodiert, auf die mehr Kategorien und Kategorien höherer Komplexität zutreffen (Abb. 8.5).

		Tätigkeiten	Kod.	Sprechhandlungen	Kod.
Beobachtungszeitraum 30s	15s lang	Die Vpn stellt am Versuchsaufbau einen Messbereich ein.	MA	„Moment, so groß darf der nächste Schritt nicht sein, sonst ist die Dämpfung zu stark für die kleine Winkelgeschwindigkeit“	O M PP
	15s lang	Die Vpn nimmt Messwerte auf.	ME	„Hm, schwingt ziemlich langsam“	O

Abbildung 8.5: Beispiel für die Kodierung von Sprechhandlungen in nicht eindeutigen Situationen. Es muss eine Entscheidung für einen der beiden 15s-Zeiträume getroffen werden. Kodiert werden die ersten 15 Sekunden, da dort mehr Kategorien und Kategorien höherer Komplexität zutreffen.

Umfang der analysierten Daten

Das Beobachtertraining sowie die eigentliche Analyse der Videoaufnahmen sind sehr zeitaufwendig. Daher muss eine Beschränkung auf einen Teil der Aufnahmen erfolgen. Es wurden alle neun Versuchs*durchführungen* von Versuch II (Anharmonische Schwingungen) analysiert. Damit liegen die kompletten Daten der 18 Vpn für diesen Versuch vor. Das Vorhaben, auch alle zugehörigen Versuchs*auswertungen* zu analysieren, wurde nach der Analyse von drei Videobändern (6 Vpn, 2 pro Vergleichsgruppe) aufgegeben. Es wurde unter Berücksichtigung der Analyseergebnisse der Versuchsdurchführung klar, dass dadurch keine neuen Ergebnisse zu erwarten sind, die den hohen Aufwand rechtfertigen. Des Weiteren wurden drei Aufnahmen der Durchführung von Versuch I (RC-Relaxation) analysiert (6 Vpn, 2 pro Vergleichsgruppe). Anhand dieser Daten können die Analyseergebnisse von Versuch II auf über den spezifischen Versuch hinausgehende Gültigkeit überprüft werden. Insgesamt wurden über 110 Stunden Praktikumsarbeit der 18 Vpn (Tab. 8.5) analysiert.

GESAMT: 18 VPN, CA. 110H PRAKTIKUMSARBEIT		VERSUCH I	VERSUCH II
		RC-Relaxation	Anharmonische Schwingungen
Versuchs-durchführung	TRAD	2 Vpn	6 Vpn
	MBL	2 Vpn	6 Vpn
	MBS	2 Vpn	6 Vpn
Versuchsaus-wertung	TRAD	-	2 Vpn
	MBL	-	2 Vpn
	MBS	-	2 Vpn

Tabelle 8.5: Übersicht über die analysierten Videodaten.

8-5 BEOBACHTERÜBEREINSTIMMUNG

Vor Beginn der Analyse wird eine ausreichend hohe Übereinstimmung zwischen den Kodierungen zweier Beobachter gesichert. Die Skalen zur Einstufung der Tätigkeiten und Sprechhandlungen haben Nominalskalenniveau. Zur Berechnung der Beobachterübereinstimmung auf diesem Skalenniveau bietet sich der Kappa-Koeffizient an (ASENDORPF & WALLBOTT 1979, 250). Er wurde von COHEN (1960) entwickelt und berechnet die prozentuale Übereinstimmung zwischen zwei Beobachtern, die um die zufällig erwartete Übereinstimmung korrigiert wird. Dies geschieht mit Hilfe einer Beobachtungsmatrix (Abb. 8.6 und 8.7).

Gegenüber alternativen Maßen, wie etwa dem Kontingenzkoeffizienten C, bietet Kappa einen entscheidenden Vorteil. Bei C beruht die Berechnung der Zufallsübereinstimmung auf einer angenommenen Gleichverteilung der Kodierungen über alle Zellen der Matrix. Für den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist dies unrealistisch. Es würde bedeuten, dass alle Kategorien von beiden Beobachtern gleich oft kodiert werden. Im

Fall von Kategoriesystem A hätten dann alle Tätigkeiten den gleichen Anteil an der Praktikumszeit. Dass dies nicht der Fall ist, wird bereits aus den Randsummen in Abbildung 8.6 ersichtlich.

Bei der Berechnung von Kappa werden für die zufällige Übereinstimmung keine solchen Vorannahmen getroffen, sondern die Randsummen der tatsächlichen Verteilungsmatrix herangezogen. Die erwartete Häufigkeit für eine Zelle ergibt sich dann aus dem Produkt der entsprechenden Zeilen- und Spaltensumme, geteilt durch die Zahl der Gesamtfälle. Wenn die Kodierungen der Beobachter nicht gleichmäßig über die Kategorien verteilt sind, ergibt sich so eine angemessenere Einschätzung der zufälligen Übereinstimmung.

		Beobachter 1									
		X	3P	LG	SL	MA	ME	DM	MB	CMA	
Beobachter 2	X	25	1	0	0	5	4	1	0	0	*36*
	3P	0	291	2	0	13	7	1	0	1	*315*
	LG	0	3	36	1	6	3	1	0	1	*51*
	SL	0	1	3	14	2	1	5	0	3	*29*
	MA	4	12	7	2	239	26*	3	1	2	*296*
	ME	5	9	0	3	29*	337	5	1	1	*390*
	DM	0	6	0	0	0	6	104	0	11	*127*
	MB	0	0	0	0	0	0	0	63	0	*63*
	CMA	1	1	1	0	4	3	7	2	58	*77*
		25	*324*	*49*	*20*	*298*	*387*	*127*	*67*	*77*	*1384*

Abbildung 8.6: Beobachtungsmatrix für 1384 Fälle (692 min), in denen Tätigkeiten kodiert wurden. Die Diagonale enthält die Zahl der Übereinstimmungen. Am Ende jeder Zeile bzw. Spalte stehen die Randsummen. Die mit * gekennzeichneten Werte stellen die größte Fehlerquelle dar.

Da es sich um zwei abgeschlossene Kategoriesysteme handelt, wurde Kappa für jedes Kategoriesystem gesondert berechnet. Die Matrix für die Tätigkeitsbeobachtungen (Abb. 8.6) lässt sich leicht erstellen und auswerten, da für jeden Fall (d.h. jeden Beobachtungszeitraum) jeder Rater genau eine Kodierung vornimmt. Das Erstellen der Matrix für die Beobachtung der Sprechhandlungen ist schwieriger. Hier können von jedem Rater in jedem Fall verschiedene Kodierungen kombiniert werden. Beispielsweise kann, wenn beide Beobachter PP kodieren, trotzdem ein Fehler auftreten, falls nämlich gleichzeitig einer der Beobachter auch M kodiert. In der Beobachtungsmatrix für die Verbalkategorien sind daher nur die Zellen zu berücksichtigen, die den sinnvollen Kategoriekombinationen entsprechen (Abb. 8.7).

		Beobachter 1										
		O	D	nurOD	M	nurM	P	PP	nurPPP	X	S	
Beobachter 2	O	637	30							11	36*	*714*
	D	34	298							0	16	*348*
	nurOD				62*		19	2				*83*
	M			81*	269				38			*388*
	nurM						26	7				*33*
	P			32		21	138	13				*204*
	PP			7		1	22	72				*102*
	nurPPP				19							*19*
	X	4	3							17	7	*31*
	S	53*	16							4	218	*291*
		728	*347*	*120*	*350*	*22*	*205*	*94*	*38*	*32*	*277*	*2213*

Abbildung 8.7: Beobachtungsmatrix für 1384 Fälle (692 min), in denen Sprechhandlungen kodiert wurden. Leere Zellen bedeuten, dass die entsprechende Kategoriekombination nicht möglich ist oder bereits in einer anderen Zelle enthalten ist. S ist eine zusätzlich eingeführte Kategorie, die die Anzahl der Zeitschritte ohne Sprechhandlungen enthält. Die mit * gekennzeichneten Werte stellen die größten Fehlerquellen dar.

Überprüfung der Übereinstimmung

Die Überprüfung der Beobachterübereinstimmung wurde mit der Operationalisierung der Kategorien (s.o.) verbunden. Die Kategorien wurden in mehreren iterativen Arbeitsschritten operationalisiert. Dabei wurden regelmäßig Stichproben des Videomaterials von zwei Beobachtern kodiert und die Übereinstimmungskoeffizienten berechnet. Dieses Verfahren wurde auch während der eigentlichen Analyse der Aufnahmen beibehalten, um eine gleichbleibend gute Übereinstimmung sicherzustellen. Bei der Stichprobenwahl wurde darauf geachtet, dass es sich um möglichst viele, in Bezug auf die Tätigkeitsstruktur unterschiedliche Sequenzen handelt. Die Beobachterübereinstimmung wurde also sowohl für Praktikumsphasen mit eintöniger Messwertaufnahme, als auch für abwechslungsreiche Phasen überprüft.

Mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms wurden die Beobachtungsmatrizen aus den in den Analysebögen eingetragenen Kodierungen erstellt und Kappa berechnet. Die Ergebnisse sind, für alle durchgeführten Tests zusammengefasst, in Tabelle 8.6 dargestellt.

KATEGORIESYSTEM	KAPPA	PROZENTUALE ÜBEREINSTIMMUNG	ANZAHL FÄLLE
Tätigkeiten	0.81	84%	1384
Sprechhandlungen	0.69	80%	1384

Tabelle 8.6: Beobachterübereinstimmung für die Kategoriesysteme A und B. Die Werte beruhen auf Beobachtungsstichproben im Umfang von insgesamt 692 Minuten Praktikumsarbeit.

Die Berechnungen zeigen, dass die Übereinstimmung für die Tätigkeitskategorien höher liegt als für die Verbalkategorien. Dieses Ergebnis ist plausibel, da das erste Kategoriesystem nur eine inhaltliche Dimension besitzt und die Kategorien zudem disjunkt sind. Im zweiten Kategoriesystem dagegen ist durch die verschiedenen Kategoriekombinationen die Wahrscheinlichkeit einer nicht oder nur teilweise korrekten Kodierung recht hoch. Es ist im Hinblick auf die spätere Interpretation der Analyseergebnisse aufschlussreich, die Verteilung der Zellwerte in den Beobachtungsmatrizen zu betrachten. Dabei stellt sich heraus, dass es zwei deutliche Hauptfehlerquellen bei der Kodierung der Sprechhandlungen gibt (Abb. 8.7):

(1) Die Entscheidung, ob die Kategorie M (Inhaltsbereich Messung) zutrifft.

Damit bestätigen sich Erfahrungen aus der Kategorie-Operationalisierung, nach denen dieser Inhaltsbereich am wenigsten klar definierbar ist. Dies liegt unter anderem daran, dass zwei Inhaltsbereiche (Methodik und Technik) zusammengefasst wurden. Insbesondere die Handlungsregulation im technischen Bereich ist nur schwer vom einfachen Manipulieren von Objekten abzugrenzen. Im Hinblick auf Ergebnisse bezüglich des physikalischen Inhaltsbereichs hat dieser Beobachtungsfehler keine Bedeutung. Eine Berechnung von Kappa, bei der dieser Hauptfehler nicht eingeht, ergibt einen Wert von $\kappa = 0.72$.

(2) Die Entscheidung, ob eine Sprechhandlung vorliegt.

Auch dies bestätigt Erfahrungen aus der Videoanalyse. Danach lässt es sich bei der Analyse in Echtzeit nicht vermeiden, hin und wieder eine Sprechhandlung zu übersehen. Dieser Fehler ist jedoch von geringerer Bedeutung, da ohnehin davon ausgegangen wird, dass genügend Sprechhandlungen für gültige Analyseergebnisse vorliegen (s.o.).

Bei der Kodierung der Tätigkeiten liegt die größte Fehlerquelle in der Kodierung der Kategorien MA (Manipulieren) und ME (Messung) (Abb. 8.6). Das liegt daran, dass diese Tätigkeiten eng miteinander verknüpft sind. Vor, während oder nach einer Messung wird in der Regel auch am Versuchsaufbau manipuliert. Es gibt daher einige Fälle, in denen die Entscheidungen zweier Beobachter, welche Kategorie zutrifft, verschieden ausfallen.

Die erhaltenen Kappawerte sind hoch. Nach BOS (1989) gelten Reliabilitätsangaben mit >.70 als zufriedenstellend. Es kann also, unter Berücksichtigung der eben beschriebenen Hauptfehler, davon ausgegangen werden, dass bei Anwendung der beiden Kategoriesysteme verschiedene, in der Kodierung geübte Beobachter zu gut übereinstimmenden Ratings kommen.

Kapitel 9

ERGEBNISSE DER VIDEOANALYSE

9-1 EINFÜHRUNG

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Videoanalyse vorgestellt. Es werden also die Tätigkeiten und die Qualität der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit untersucht. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Umgang mit physikalischen Konzepten bei der Handlungsregulation (*manipulating ideas*) eine Grundvoraussetzung für Physiklernen ist.

Nach Kapitel 6-5 wird folgende Hypothese bezüglich des Lernens im physikalischen Anfängerpraktikum mit und ohne Computer im vorliegenden Kapitel überprüft:

(1) Die im Praktikum bei der Handlungsregulation erbrachten kognitiven Leistungen der Studierenden hängen von der Art der Lernumgebung ab:

   (a) Im traditionellen Praktikum findet die Handlungsregulation bezüglich physikalischer Inhalte auf der deskriptiven kognitiven Ebene statt.

   (b) Bei Einsatz des Computers zur Messwerterfassung (Gruppe MBL) findet die Handlungsregulation häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt als im traditionellen Praktikum (Gruppe TRAD).

   (c) Wird zusätzlich zur Messwerterfassung ein Modellbildungssystem eingesetzt (Gruppe MBS), findet die Handlungsregulation häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt als beim Einsatz des Computers nur zur Messwerterfassung (Gruppe MBL).

Aufbau des Kapitels

Hypothese (1) wird in Abschnitt 9-3 (Analyse der Sprechhandlungen) überprüft.

Die für diese Arbeit entwickelte Methode der Videoanalyse erlaubt es, über die Überprüfung dieser Hypothese hinaus Ergebnisse zu erhalten, die zu einem besseren Verständnis der Wechselwirkung zwischen Lernumgebung und Handlungen der Studierenden beitragen. Sie ergeben sich zum einen aus der Analyse der Tätigkeiten (Abschnitt 9-2). Zum anderen sind es Ergebnisse über den Zusammenhang zwischen Tätigkeiten und Sprechhandlungen. Hierfür werden die beiden Kategoriesysteme miteinander verknüpft (Abschnitt 9-4).

Alle dargestellten Ergebnisse beziehen sich zunächst auf die Versuchsdurchführung von Versuch II („Anharmonische Schwingungen"). Zu diesem Versuch wurden alle Videoaufzeichnungen analysiert (siehe Kap. 8-4). In weiteren Abschnitten werden dann auch Ergebnisse bezüglich der Versuchsauswertung zu diesem Versuch, sowie zu Versuch I („RC-Relaxation"), beschrieben. Wenn im Text der allgemeine Ausdruck 'Praktikum' gebraucht wird, so ist damit immer das einzelne Praktikumsexperiment gemeint.

Methodisches Vorgehen bei der Auswertung

Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich jeweils auf die drei Gruppen TRAD (traditionelles Praktikum), MBL (computergestützte Messwerterfassung) und MBS (Messwerterfassung und Modellbildungssystem). In jedem Abschnitt werden die Ergebnisse sowohl deskriptiv dargestellt, als auch statistisch auf Unterschiede zwischen den Gruppen überprüft. Hierfür wurden einfaktorielle Varianzanalysen (ANOVAS) gerechnet. Als Prüfgrößen werden die üblichen F-Werte verwendet (z.B. BORTZ 1985). Zusätzlich zu den Grafiken sind jeweils Varianzanalysetabellen aufgeführt, welche die F-Werte (F), die zugehörigen Freiheitsgrade (df) und die Irrtumswahrscheinlichkeiten (p) der Effekte enthalten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf die Angabe der Standardabweichungen verzichtet. Im Text werden alle statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen erklärt und diskutiert. Beim Auftreten signifikanter Unterschiede zwischen den drei Gruppen werden Post-Hoc-Tests nach Scheffé gerechnet, um zu lokalisieren, welche Einzelgruppen sich signifikant unterscheiden. Die Ergebnisse dieser Tests sind jeweils im Text beschrieben.

9-2 ANALYSE DER TÄTIGKEITEN

Tabelle 9.0 zeigt die Gesamtdauer der Praktikumsarbeit für die drei Gruppen TRAD, MBL und MBS. Diese Größe wird im Folgenden als *Praktikumszeit* bezeichnet. Damit ist immer die Gesamtzeit gemeint, welche die Studierenden im Zusammenhang mit der Versuchsdurchführung dienstagnachmittags in den Praktikumsräumen der Universität verbracht haben. Zur Praktikumszeit können also auch bereits Auswertearbeiten gehören, wenn die Studierenden solche direkt nach der Messwertaufnahme durchgeführt haben (später kommt noch die *Auswertezeit* hinzu; dabei handelt es sich um die Zeit, die die Studierenden über die Praktikumszeit hinaus mit der Versuchsauswertung und der Protokollerstellung verbracht haben).

	TRAD	MBL	MBS
PRAKTIKUMSZEIT	166 min	226 min	284 min

Tabelle 9.0: Praktikumszeiten der Gruppen TRAD (traditionelles Praktikum), MBL (computergestützte Messwerterfassung) und MBS (Messwerterfassung und Modellbildungssystem) bei der Durchführung von Versuch II.

Man erkennt in Tabelle 9.0, dass zum einen die Praktikumszeit bei den Vpn der traditionellen Gruppe (TRAD) deutlich kürzer ausfällt als bei den Vpn der „computergestützten“ Gruppen (MBL und MBS). Zum anderen bewirkt der Einsatz des Modellbildungssystems (MBS) eine deutlich höhere Praktikumszeit als der alleinige Einsatz automatischer Messwerterfassung (MBL).

Um den Einfluss der unterschiedlichen Praktikumszeiten zu eliminieren, werden im Folgenden immer die prozentualen Anteile der verschiedenen Kategorien an der jeweiligen Praktikumszeit betrachtet. Dabei entspricht die Praktikumszeit der Gesamtanzahl der Zeitschritte (Beobachtungszeiträume), in denen für eine Vpn Tätigkeiten kodiert wurden. Der Anteil einer Tätigkeit an der Praktikumszeit entspricht dann dem Anteil der mit der entsprechenden Tätigkeitskategorie kodierten Zeitschritte an der Gesamtzahl der Zeitschritte. Der Übersichtlichkeit halber werden im Text meistens die Tätigkeitskategorien bzw. die zugehörigen Abkürzungen mit den entsprechenden Tätigkeiten gleichgesetzt. Ein Überblick über die Bedeutungen der Abkürzungen findet sich in den Tabellen 8.1 und 8.2 in Kapitel 8 (Seiten 57 und 61).

Abbildung 9.1 zeigt die mittleren prozentualen Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit. Tabelle 9.1 enthält die zugehörigen Mittelwerte sowie die Kennzahlen der Varianzanalyse.

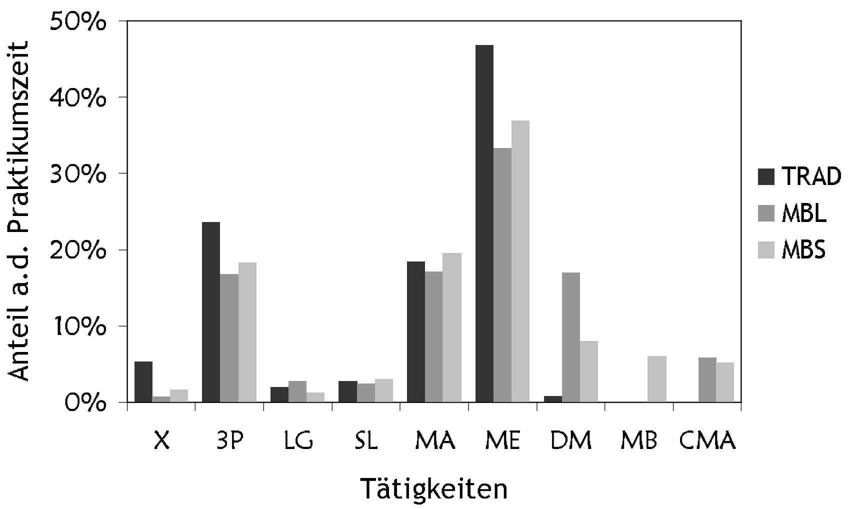


Abbildung 9.1: Mittlere Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit für die Gruppen TRAD, MBL und MBS (vgl. Tab 9.1)

Kategorie	TRAD	MBL	MBS	df	F	p
X	5,3 %	1,4 %	2,1 %	(2;15)	7.16	**.007**
3P	23,6 %	20,1 %	18,2 %	(2;15)	2.35	.130
LG	2,0 %	2,8 %	1,2 %	(2;15)	1.31	.300
SL	2,7 %	2,5 %	3,0 %	(2;15)	.04	.962
MA	18,4 %	17,2 %	19,3 %	(2;15)	.72	.505
ME	46,9 %	33,4 %	36,6 %	(2;15)	6.44	**.010**
DM	1,2 %	17,0 %	8,2 %	(2;15)	64.62	**.000**
MB	-	-	6,0 %	(2;3)	0.00	1.000
CMA	-	5,9 %	5,2 %	(2;9)	.244	.632

Tabelle 9.1: Mittlere Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit für die Gruppen TRAD, MBL und MBS (vgl. Abb. 9.1). Fett gedruckte Werte der Irrtumswahrscheinlichkeit (p) zeigen statistisch signifikante Mittelwertunterschiede an.

In Abbildung 9.1 wird der Grund für die in Tabelle 9.0 dargestellten Unterschiede in den Praktikumszeiten deutlich. Die längere Gesamtdauer computerunterstützter Praktikumsarbeit erklärt sich dadurch, dass bei Benutzung des Computers mehr Tätigkeiten ausgeübt werden als im traditionellen Fall. Man erkennt dies an den Anteilen der Kategorien DM, MB und CMA. Diese Tätigkeiten treten fast nur im computerunterstützten Praktikum auf.

Computerspezifische Tätigkeiten

Es gibt zwei Tätigkeiten, die nur bei computerunterstützter Praktikumsarbeit auftreten können: MB und CMA (vgl. Tab. 9.1).

CMA bezeichnet computerspezifische Tätigkeiten. Im Schnitt werden dafür etwa 5% der Praktikumszeit benötigt, das entspricht etwa 10-20 Minuten. Es gibt verschiedene Aktivitäten, die in diese Tätigkeitskategorie fallen. Einige davon sind grundsätzlich notwendig, etwa das Abspeichern aufgenommener Messwerte, das übersichtliche Anordnen der Symbole im STELLA-Modell, o.ä. Andere Aktivitäten sind dagegen vermeidbar. Das sind Probleme bei der Benutzung der Software - sie führen zu Zeitverlusten, dürften bei einer regelmäßigen oder häufigeren Programmbenutzung jedoch keine Rolle mehr spielen - und Formatierungen, wie etwa das Optimieren des farblichen Layouts von Graphen o.ä.

MB bezeichnet die Modellbildung mit dem Programm STELLA. Diese Tätigkeit kann nur in der MBS-Gruppe auftreten. Im Schnitt werden 6% der Praktikumszeit auf die Modellbildung verwandt, das sind zwischen 15 und 20 Minuten. So lange brauchen die Studierenden, um ein korrektes physikalisches Modell zum Experiment „„Anharmonische Schwingungen"" zu erstellen. Es handelt sich dabei um ein relativ komplexes Modell (siehe Anhang 1). Es ist daher überraschend, dass die Studierenden das Modell in so kurzer Zeit erstellen. Diese Beobachtung wurde schon in Kapitel 7-4 diskutiert. Dort ist von 20 bis 40 Minuten bis zur Fertigstellung des Modells die Rede. Der Unterschied erklärt sich dadurch, dass zwischen Phasen der eigentlichen Modellerstellung (*expressive mode*) immer wieder Testsimulationen unter Veränderung von Parametern durchgeführt werden (*exploratory mode*), um zu überprüfen, ob das gewünschte Resultat schon erreicht ist. Diese beiden Anwendungsmoden werden mit dem Kategoriesystem der Videoanalyse getrennt. Simulationsläufe werden analog zur Aufnahme von Messwerten behandelt und sind somit in der Kategorie ME enthalten. Einstellungen von Simulationsparametern werden analog zur Einstellung von Messbereichen behandelt und sind somit in der Kategorie MA enthalten (siehe Kap. 8-2, S. 58).

Durchführung von Auswertungen

DM bezeichnet den Umgang mit bereits aufgenommenen Messwerten. Es handelt sich dabei um Auswertearbeiten, etwa die Umrechnung der Daten in eine bestimmte physikalische Größe, oder die graphische Darstellung von Zusammenhängen zwischen Datenreihen. Während die Tätigkeiten CMA und MB überhaupt nur bei computergestützter Praktikumsarbeit auftreten können, kann die Tätigkeit DM auch im traditionellen Praktikum auftreten. Die Studierenden werden nicht an der Durchführung von Auswertungen in direktem Zusammenhang mit der Messung gehindert. Die Ergebnisse zeigen, dass sie diese Möglichkeit aber praktisch nicht nutzen (Abb. 9.1). Das bedeutet, dass auch keinerlei Zwischenergebnisse berechnet oder Überschlagsrechnungen gemacht werden, um zu überprüfen, ob die aufgenommenen Daten Ergebnisse liefern, die in etwa den Erwartungen entsprechen. Dies wäre im Falle des betrachteten Experiments durchaus sinnvoll, nämlich nach Messung der Parametergrößen (mit Hilfe der Parameterwerte wird später die theoretische Kurve von Amplitude bzw. Phase gegen Frequenz errechnet; mit dieser soll die gemessene Kurve verglichen werden; siehe Kap. 7-1). Die Praxis sieht in der Regel so aus, dass der Versuchsbetreuer oder die Betreuerin die aufgenommenen Messwerte überprüft. Liegen die Werte in der richtigen Größenordnung, fahren die Studierenden mit der nächsten Messung fort.

Der hauptsächliche Grund für dieses Vorgehen im traditionellen Fall ist, dass eine direkte Auswertung der Messungen zu lange dauern würde. Zum Beispiel müsste die lineare Regression zur Errechnung der Dämpfungskonstanten „von Hand“ gemacht werden. Im computerunterstützten Fall kann diese Rechnung ohne bedeutenden Zeitverlust sofort durchgeführt werden. Am Anteil der Tätigkeit DM in Abbildung 9.1 ist erkennbar, dass die Vpn der „computergestützten“ Gruppen Auswertungen direkt im Zusammenhang mit den Messungen durchführen. Im Unterschied dazu finden im traditionellen Praktikum Versuchsdurchführung und Auswertung getrennt voneinander statt.

Tabelle 9.1 zeigt für die Tätigkeit DM einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen. Die Post-Hoc-Tests ergeben, dass neben den oben erläuterten Unterschieden zwischen traditioneller und computergestützter Praktikumsarbeit auch zwischen den Gruppen MBL und MBS ein signifikanter Unterschied besteht ($p<0.01$). Während Vpn der MBL-Gruppe zwischen 35 und 50 Minuten (im Schnitt 16% der Praktikumszeit) mit der Auswertung der Messungen verbringen, sind es bei Vpn der MBS-Gruppe nur 20 bis 30 Minuten (im Schnitt etwa 8% der Praktikumszeit). Das liegt an der sehr langen Gesamt-Praktikumszeit beim Einsatz des Modellbildungssystems (vgl. Tab. 9.0). Die Erstellung des Modells, das Vorhersagen von Messwerten mit Hilfe der Simulation, und die Untersuchung der Übereinstimmung zwischen Modell und Experiment sind zeitaufwendig. Nach Aufnahme der letzten Messwerte war es in der Regel gegen 17h abends. Alle anderen Studierenden hatten zu dieser Zeit die Praktikumsräume bereits verlassen. Deshalb führten die Vpn der MBS-Gruppe die Auswertearbeit nicht zu Ende. Hier wird deutlich, dass die zeitlichen und sozialen Rahmenbedingungen einen großen Einfluss auf den Ablauf der Praktikumsarbeit haben.

Handlungsspielraum im Praktikum

Tabelle 9.1 zeigt, dass für die Tätigkeit ME (Messen) ein signifikanter Unterschied zwischen den drei Gruppen besteht. Dieser Effekt kommt dadurch zustande, dass die Praktikumsarbeit im computerunterstützten Fall länger dauert als im traditionellen Fall, weil mehr verschiedene Tätigkeiten ausgeübt werden (s.o.). Die Tätigkeit ME hat dann einen geringeren prozentualen Anteil an der Gesamt-Praktikumszeit. Es ist darum hilfreich, auch die absoluten durchschnittlichen Messzeiten der drei Gruppen zu betrachten. Sie sind in Abbildung 9.2 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die absolute Messzeit für die MBS-Gruppe am größten ist (Abb. 9.2, linke Hälfte). Das liegt daran, dass, wie oben beschrieben, bestimmte Aktivitäten bei der Benutzung des Modellbildungssystems mit ME kodiert wurden. Lässt man den Beitrag dieser Aktivitäten außer Acht, so sind die Messzeiten aller drei Gruppen ungefähr gleich groß (Abb. 9.3, rechte Hälfte).

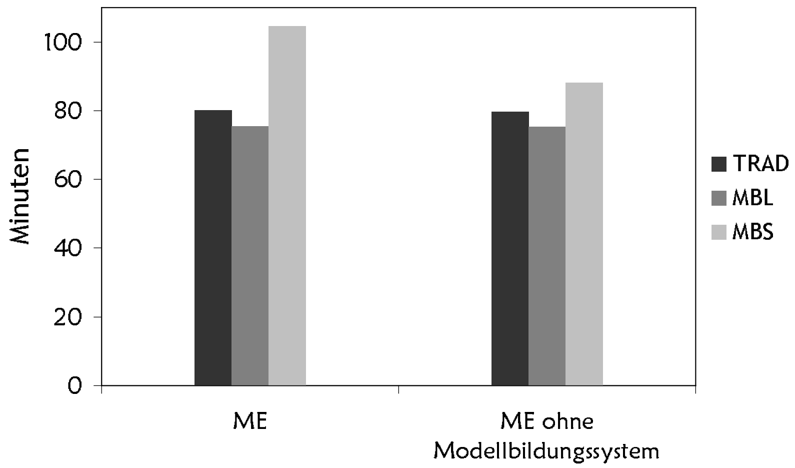


Abbildung 9.2: Durchschnittliche Messzeiten der Gruppen TRAD, MBL und MBS in Minuten, mit und ohne Einbeziehung der bei der Benutzung des Modellbildungssystems mit ME kodierten Aktivitäten.

Das Ausführen von Simulationen mit dem Modellbildungssystem ist als Tätigkeit dem Ausführen von Messungen am realen Versuchsaufbau vergleichbar. Beide Aktivitäten werden daher mit ME kodiert. Auf kognitiver Ebene hat das Ausführen von Simulationen mit dem Modellbildungssystem gegenüber dem Durchführen von Messungen am realen Versuchsaufbau allerdings eine andere Qualität (vgl. Kap. 8-2, S. 58). Bei der Analyse der Videos werden daher die mit diesen Tätigkeiten auftretenden Sprechhandlungen unterschiedlich kodiert. Damit ist es möglich, objektbezogene Handlungen (wie Messungen am Versuchsaufbau) von daten- oder symbolbezogenen Handlungen (wie Simulationen oder Auswertearbeiten) zu trennen (vgl. Kap. 8-3, S. 62). Die bisher betrachteten Ergebnisse umfassen beide Arten von Handlungen. Zwar werden die kognitiven Aspekte der Praktikumsarbeit erst im nächsten Abschnitt besprochen. Da sich aus der beschriebenen Unterscheidung aber auch wichtige Ergebnisse bezüglich der Tätigkeiten bei der Praktikumsarbeit gewinnen lassen, wird sie an dieser Stelle bereits berücksichtigt.

Abbildung 9.3 zeigt die prozentualen Anteile der Tätigkeiten an der Praktikumszeit, wenn nur solche Zeitschritte berücksichtigt werden, in denen die Sprechhandlungen sich auf reale Objekte beziehen. Man erkennt, dass sich dann die Anteile der verschiedenen Tätigkeiten für die drei Gruppen aneinander angleichen (zum Vergleich siehe Abb. 9.1, S. 73, wo alle Zeitschritte berücksichtigt sind). Unter anderem fallen die Anteile der Tätigkeiten DM, MB und CMA für die Computer-Gruppen weitgehend weg. Für die „traditionelle" Gruppe dagegen ändert sich im Vergleich zu Abbildung 9.1 nichts.

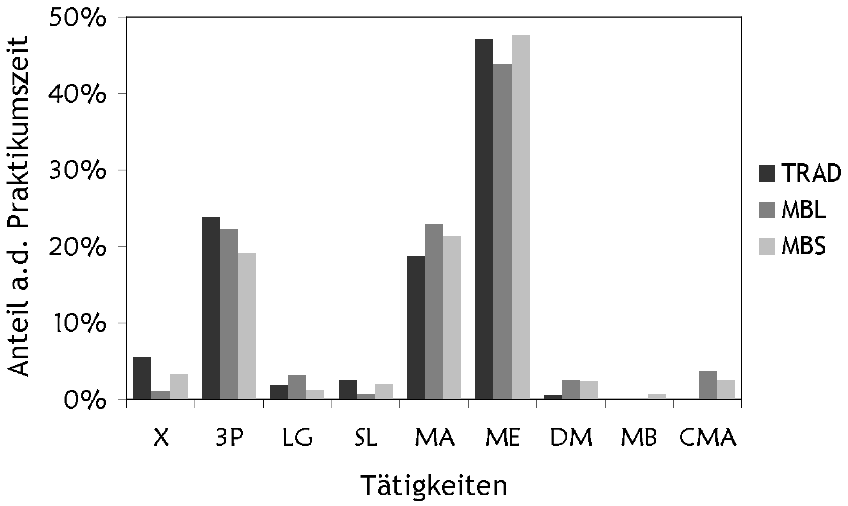


Abbildung 9.3: Mittlere Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit, wenn Zeitschritte, in denen die Sprechhandlungen sich auf Daten oder Symbole beziehen, unberücksichtigt bleiben (zum Vergleich siehe Abb. 9.1, S. 73).

Dieses Ergebnis verdeutlicht zum einen die Auswirkungen des Computereinsatzes auf die Tätigkeiten der Studierenden im Praktikum. Im Vergleich zum traditionellen Praktikum werden im computergestützten Praktikum mehr Tätigkeiten ausgeübt. Bei diesen Tätigkeiten beziehen sich die Studierenden nicht auf reale Objekte, sondern auf Symbole oder Daten.

Zum anderen gibt dieses Ergebnis einen Hinweis auf den Handlungsspielraum im traditionellen Praktikum. Art und Dauer der verschiedenen Tätigkeiten der Praktikumsarbeit sind weitgehend festgelegt. Zum Beispiel verbringen alle Vpn etwa den gleichen Anteil der Praktikumszeit mit dem Aufnehmen von Messwerten oder mit dem Manipulieren des Versuchsaufbaus (Abb. 9.3). Sogar der Anteil der Tätigkeit 3P (Interaktion mit dem Betreuer) an der Praktikumszeit ist für alle Gruppen ungefähr gleich groß. Die Zahl der Freiheitsgrade der Handlung (siehe Kap. 4-2, S. 25) ist also gering. Lediglich die Abfolge der Tätigkeiten kann variiert werden. Das liegt an den detaillierten Handlungsvorschriften der Versuchsanleitung. Diese, sowie die engen zeitlichen Rahmenbedingungen der Praktikumsarbeit (3 h an einem Nachmittag der Woche), führen dazu, dass die Studierenden wenig Spielraum für Handlungsalternativen haben.

Aus Abbildung 9.3 wird ferner deutlich, dass ME (Messen) die am häufigsten auftretende Tätigkeit im Praktikum ist, gefolgt von MA (Manipulieren) und 3P (Dritte Person). Der durchschnittliche Anteil der Tätigkeit ME an der Praktikumszeit beträgt 46%. Die Versuchsdurchführung besteht hier also hauptsächlich im Aufnehmen von Messwerten. Durch den Computereinsatz wird keine Reduzierung der Messzeit erreicht (vgl. Abb. 9.2).

Vor diesem Hintergrund ist es bemerkenswert, dass im Interview nach der Versuchsdurchführung alle Studierenden, die mit dem Computer gearbeitet haben, sich äußerst positiv zur computergestützten Messwerterfassung äußern. Alle betreffenden Studierenden sind, obwohl sie den Versuch nicht ohne Computer durchgeführt haben, der Meinung, dass der Computer das Aufnehmen der Messwerte sehr vereinfacht. Vermutlich nehmen die Studierenden ihre Erfahrungen aus anderen Experimenten des Anfängerpraktikums als Maßstab. In beinahe allen Versuchen sind langwierige Messreihen aufzunehmen. Die computergestützte Messwerterfassung stellt offenbar für die Studierenden eine angenehme Abwechslung dar, die von ihnen positiv bewertet wird.

Weitere Ergebnisse

Die Anteile der Tätigkeiten LG (Versuchsanleitung) und SL (Schreiben/Lesen) an der Praktikumszeit sind sehr gering (Abb. 9.1 oder 9.3). SL bezeichnet das Übertragen bzw. Abschreiben von Messwerten, oder das Aufschreiben oder Vorlesen von Text. Diese Tätigkeit tritt während der Praktikumsarbeit nur sehr selten auf und spielt im Vergleich zu den anderen Tätigkeiten keine bedeutende Rolle. Der geringe Anteil der Tätigkeit LG an der Praktikumszeit kann daher rühren, dass die Studierenden meist nur einen kurzen Blick in die Anleitung werfen, um eine bestimmte Information darin zu suchen. Wegen des Kodierungszeitschritts von 30 Sekunden wird dies in den meisten Fällen aber nicht als die hauptsächliche Tätigkeit in einem Beobachtungszeitraum kodiert. Es lässt sich somit aufgrund dieser Ergebnisse nur schwer beurteilen, inwieweit die Versuchsanleitung während der Durchführung des Experiments zum Einsatz kommt.

Ein zunächst überraschendes Ergebnis ergibt sich bezüglich der Tätigkeit X (versuchsfremde Aktivitäten). Damit sind Aktivitäten, die nichts mit der Durchführung des Praktikumsexperiments zu tun haben, bezeichnet. Im traditionellen Praktikum ist der Anteil dieser Kategorie an der Praktikumszeit deutlich höher als im computergestützten Praktikum (Abb. 9.1 bzw. 9.3). Die Post-Hoc-Tests zeigen, dass der signifikante p-Wert in Tabelle 9.1 (S. 74) auf Unterschiede zwischen der „traditionellen“ Gruppe und den „computergestützten“ Gruppen zurückzuführen ist (jeweils $p<0.05$ für die Unterschiede TRAD-MBL und TRAD-MBS).

Dieses Ergebnis erklärt sich damit, dass Studierende, die den Versuch computerunterstützt durchführen, die ganze Zeit mit dem Computer beschäftigt sind und sich kaum von ihrer Arbeit ablenken lassen. Im computerunterstützten Praktikumsversuch müssen die Werte für Amplitude und Phase sorgfältig im Schwingungsdiagramm auf dem

Bildschirm ausgemessen werden (siehe Kap. 7-1). Nach Beendigung einer Messung muss dann die Programmoberfläche für die nächste Messung vorbereitet werden. Dies, sowie die Visualisierung der Schwingungen des Pendels, insbesondere der Einschwingvorgänge, führt dazu, dass die Aufmerksamkeit der Studierenden beständig dem Computer zugewandt ist. Daran ändert auch die Aufgabenteilung zwischen den Studierenden einer Arbeitsgruppe nichts. Da immer nur eine Vpn am Computer arbeiten kann, könnte man annehmen, dass die andere Vpn sich während dessen häufig mit anderen Dingen beschäftigt. Das ist, wie die Ergebnisse zeigen, nicht der Fall.

Im traditionellen Praktikum dagegen wird die Amplitude direkt an der Winkelskala des Pohlschen Rades abgelesen, und die Phasenverschiebung wird am Zeitmessgerät digital angezeigt (siehe Kap. 7-1). Das Aufnehmen der Messwerte nimmt daher nur sehr kurze Zeit in Anspruch. Außerdem lassen sich die Einschwingvorgänge nicht oder nur mühsam, durch Beobachtung des Schwungrades, verfolgen. Es entstehen daher Wartezeiten, die für versuchsfremde Aktivitäten oder Unterhaltungen genutzt werden.

Die im traditionellen Praktikum häufige Ablenkung der Vpn während der Aufnahme von Messwerten führt dazu, dass nahezu alle Studierenden den Amplitudensprung des Pendels bei der kritischen Frequenz nicht bemerken. Erst bei der Aufnahme des auf den Sprung folgenden Messwertes nehmen sie wahr, dass die Amplitude plötzlich viel kleiner ist. Der entsprechende Frequenzbereich wird dann aber nicht wiederholt durchfahren, da dies zu langwierig wäre. Obwohl im computergestützten Praktikum die Studierenden während der gesamten Praktikumszeit auf den Versuch konzentriert sind, passiert den Vpn der Gruppe MBL das Gleiche. Da sie durchgängig mit dem Ausmessen der Schwingungskurve am Computerbildschirm beschäftigt sind, beachten sie das Pohlsche Rad nicht.

Nur Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, achten im Bereich der kritischen Frequenz auf das Schwingungsverhalten des Pendels. Das liegt daran, dass diese Studierenden vor Beginn der Messung das Experiment simulieren, um die kritische Frequenz vorherzusagen. Sie haben den Verlauf der Schwingungskurve bereits im Modellbildungssystem beobachtet. Sie wissen daher, worauf zu achten ist und lenken ihre Aufmerksamkeit rechtzeitig auf den Versuchsaufbau.

9-3 ANALYSE DER SPRECHHANDLUNGEN

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Videoanalyse vorgestellt, die sich auf die Sprechhandlungen der Studierenden während der Praktikumsarbeit beziehen. Mit Kapitel 8 wird davon ausgegangen, dass dabei Aufschluss über die an der Handlungsregulation beteiligten kognitiven Strukturen der Studierenden gewonnen wird. Zunächst wird untersucht, in welchen Inhaltsbereichen die Studierenden während der Praktikumsarbeit argumentieren. Anschließend wird der physikalische Inhaltsbereich genauer betrachtet. Es wird untersucht, auf welcher Komplexitätsebene die jeweilige Handlung reguliert wird (vgl. Kap. 4 u. 8). Damit kann Hypothese (1) überprüft werden.

Alle Prozentangaben in diesem Abschnitt beziehen sich auf die Gesamtanzahl der Zeitschritte, in denen Sprechhandlungen einer Vpn vorliegen. Zeitschritte, in denen keine

Sprechhandlungen auftreten, werden nicht berücksichtigt. Um eine einheitliche und verständliche Ergebnisdarstellung zu realisieren, werden aber die Ergebnisse auch weiterhin in Bezug auf die Praktikumszeit dargestellt. In Kapitel 8-1 (S. 56) wurde die Rolle einer ausreichenden Zahl von Zeitschritten mit Sprechhandlungen bereits diskutiert. Danach wird davon ausgegangen, dass genügend Sprechhandlungen vorliegen (in 86% aller Zeitschritte), um zu gültigen Ergebnissen zu gelangen. In der Gruppe MBL befindet sich jedoch eine Vpn, die in nur 45% der Praktikumszeit Sprechhandlungen ausführt. Die Daten dieses Studenten werden für die Auswertung nicht berücksichtigt (vgl. Kap. 8-1). Die weiteren Ergebnisse beziehen sich also auf 6 Vpn in den Gruppen TRAD und MBS, und auf 5 Vpn in der Gruppe MBL.

Anteile der Inhaltsbereiche

Abbildung 9.4 zeigt, welche Inhaltsbereiche von den Sprechhandlungen der Studierenden während der Praktikumsarbeit berührt werden.

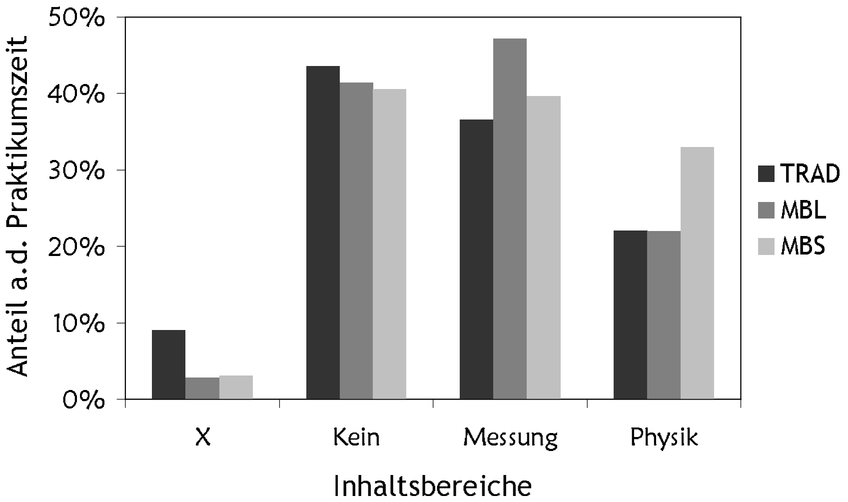


Abbildung 9.4: Mittlere Anteile der von den Sprechhandlungen der Studierenden berührten Inhaltsbereiche an der Praktikumszeit für die Gruppen TRAD, MBL und MBS. X bezeichnet versuchsfremde Inhalte. 'Kein' bedeutet, dass die Sprechhandlungen weder messbezogen noch physikbezogen sind. Die Summe der Anteile in einer Gruppe übersteigt 100%, weil eine Sprechhandlung sich auch gleichzeitig auf die beiden Inhaltsbereiche Messung und Physik beziehen kann (siehe Kap. 8; vgl. Tab. 9.4, nächste Seite)

Danach beziehen sich die Studierenden in etwa 40% der Praktikumszeit auf keinen der Inhaltsbereiche Messung oder Physik. In dieser Zeit werden also Objekte manipuliert, Ereignisse beobachtet oder Handlungsprogramme ausgeführt, ohne dass die handlungsleitenden Kognitionen physikalische oder methodische Aspekte des Praktikumsexperiments berühren (vgl. Kap. 8-3). Der zeitliche Anteil dieses Verhaltens an der Praktikumszeit ist für alle drei Gruppen ungefähr gleich groß. Das bedeutet, er ist vom Computereinsatz unabhängig. Das Verhalten ist also entweder auf das Thema des speziellen Praktikumsversuchs oder auf die generellen Gestaltungsmerkmale des traditionellen Praktikums zurückzuführen.

Inhaltsbereich	TRAD	MBL	MBS	df	F	p
X	9,8 %	2,8 %	3,7 %	(2;14)	77.20	**.007**
Kein	43,6 %	41,5 %	40,5 %	(2;14)	.70	.528
Messung	36,6 %	47,2 %	39,3 %	(2;14)	4.55	**.030**
Physik	22,2 %	22,0 %	32,7 %	(2;14)	10.38	**.002**
Mess.+Phys.	11,5%	13,6%	16,2%	(2;14)	2.84	.092

Tabelle 9.4: Mittlere Anteile der von den Sprechhandlungen der Studierenden berührten Inhaltsbereiche an der Praktikumszeit für die Gruppen TRAD, MBL und MBS (vgl. Abb. 9.4).

Der hohe Anteil dieser Kategorie an der Praktikumszeit deutet darauf hin, dass die Studierenden sehr viele Routinetätigkeiten ausführen. Wie oben gezeigt, besteht die Praktikumsarbeit zum überwiegenden Teil aus den Tätigkeiten Manipulieren und Messen. Die hierzu erforderlichen Handgriffe werden bei der Aufnahme langer Messreihen schnell zur Gewohnheit. Es ist dabei, sofern keine Probleme auftreten, nicht notwendig oder sogar störend, sich mit physikalischen oder methodischen Aspekten des Experiments zu befassen.

Das Praktikum ist eine Lernumgebung, die eigens dafür eingerichtet ist, dass die Studierenden sich mit bestimmten (technischen, methodischen und physikalischen) Inhalten auseinandersetzen. Nach den theoretischen Überlegungen in Kapitel 4 ist dies die Voraussetzung dafür, dass Wissenserwerb in den betreffenden Inhaltsbereichen stattfinden kann. Die Ergebnisse zeigen aber, dass in fast der Hälfte der Zeit, die die Studierenden im Praktikum verbringen, ihre handlungsleitenden Kognitionen keinen Bezug zu diesen Inhaltsbereichen haben. Offenbar entspricht, zumindest für dieses Experiment, die Gestaltung des traditionellen Praktikums nur teilweise den Zielen, die mit seiner Einrichtung verbunden werden. Ein Ausbildungsziel, das mit dieser Form des Praktikums erreicht werden kann, ist der Erwerb von Ausdauer und Geduld als nützliche Eigenschaften eines Physikers.

In etwa 40% der Praktikumszeit beziehen sich die Sprechhandlungen der Studierenden auf den Inhaltsbereich Messung (Abb. 9.4). Nach Kapitel 8 lässt sich dieser mit den Fragen „Wie gelangt man zu gültigen Messergebnissen?“ und „Wie werden die physikalischen Größen gemessen?“ umschreiben. Die zweite Frage berührt auch den Inhaltsbereich Physik. Tabelle 9.4 zeigt, dass in nur etwa 10-15% der Praktikumszeit beide Inhaltsbereiche gemeinsam berührt werden (aus Gründen der Übersichtlichkeit ist dieser Wert nicht in Abb. 9.4 enthalten). Das bedeutet, dass der größere Teil der messbezogenen Sprechhandlungen sich auf die Frage „Wie gelangt man zu gültigen Messergebnissen?“ bezieht. Die Handlungsregulation ist also vor allem auf das Erlangen von Messwerten und –ergebnissen ausgerichtet.

Der messbezogene Inhaltsbereich hat offenbar eine wesentlich größere Bedeutung bei der Praktikumsarbeit als der physikalische Inhaltsbereich („Welche physikalischen Größen sind beteiligt?“ bzw. „Wie sind die physikalischen Zusammenhänge?“). Der physikalische Inhaltsbereich wird im traditionellen Praktikum in nur rund 20% der Praktikumszeit berührt (Abb. 9.4).

Tabelle 9.4 zeigt für die Inhaltsbereiche X, Messung und Physik signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen. Diese Unterschiede werden im Folgenden diskutiert.

Versuchsfremde Sprechhandlungen

Die drei Gruppen unterscheiden sich signifikant bezüglich des Anteils versuchsfremder Sprechhandlungen (X) an der Praktikumszeit (Tab. 9.4). Die Post-Hoc-Tests zeigen, dass sowohl der Unterschied TRAD-MBL als auch der Unterschied TRAD-MBS signifikant ist (jeweils $p<0.05$). Die Gruppen MBL und MBS unterscheiden sich nicht signifikant. Dies entspricht dem Befund aus der Analyse der Tätigkeiten: Dort war der Anteil versuchsfremder Tätigkeiten bei traditioneller Praktikumsarbeit höher als bei computergestützter Praktikumsarbeit.

Im traditionellen Praktikum sprechen die Studierenden in nahezu 10% der Praktikumszeit über Dinge, die nichts mit dem Versuch zu tun haben. Das ist ein sehr hoher Anteil, wenn man berücksichtigt, dass, wie oben geschildert, die Studierenden in der Regel bemüht sind, das Experiment möglichst in der vorgegebenen Zeit durchzuführen. Der Anteil versuchsfremder Tätigkeiten bei der Praktikumsarbeit (5% für die Gruppe TRAD; s.o., Abb. 9.1) kann diesen hohen Anteil versuchsfremder Sprechhandlungen nicht allein erklären.

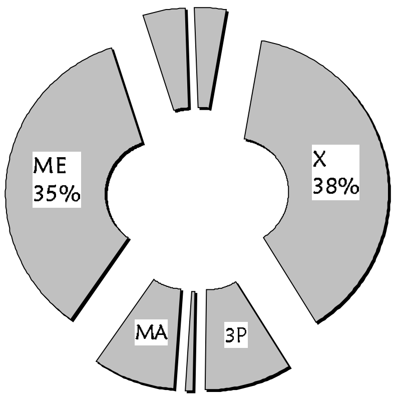


Abbildung 9.5: Verteilung der versuchsfremden Sprechhandlungen auf die einzelnen ätigkeiten. Es sind die Mittelwerte über alle 18 Vpn dargestellt.

Abbildung 9.5 zeigt, wie die versuchsfremden Sprechhandlungen sich auf die verschiedenen Tätigkeiten verteilen. Es wird ersichtlich, dass neben der Tätigkeit X vor allem das Aufnehmen von Messwerten (ME) dazu führt, dass die Studierenden sich mit versuchsfremden Inhalten befassen. Dies deutet darauf hin, dass während des Messens vermutlich keine intensive Auseinandersetzung mit versuchspezifischen Inhalten stattfindet. Die im nächsten Abschnitt des Kapitels vorgestellten Ergebnisse zum Zusammenhang zwischen Tätigkeiten und Sprechhandlungen werden diese Vermutung bestätigen.

Inhaltsbereich Messung

Tabelle 9.4 zeigt für den Inhaltsbereich Messung einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen. Die Post-Hoc-Tests ergeben, dass sich nur die Gruppen TRAD und MBL signifikant unterscheiden ($p<0.05$). Das bedeutet, dass Vpn, die computergestützte Messwerterfassung (jedoch kein Modellbildungssystem) benutzen, sich häufiger mit messbezogenen Inhalten befassen als die Vpn der anderen Gruppen. Dieses Ergebnis ist zunächst nicht plausibel. Auch die Vpn der MBS-Gruppe benutzen computergestützte Messwerterfassung. Deshalb müsste der Effekt, wenn er auf den Computereinsatz zurückzuführen wäre, auch bei diesen Vpn zu beobachten sein. Für diesen Befund kann an dieser Stelle noch keine Erklärung geliefert werden, da es hierzu einer genaueren Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Tätigkeiten und Sprechhandlungen bedarf (siehe Abschnitt 9-4).

Inhaltsbereich Physik

In diesem Inhaltsbereich ist der Anteil der Sprechhandlungen für die Gruppe MBS signifikant höher als für die Gruppen TRAD und MBL ($p<0.01$). Die Gruppen TRAD und MBL unterscheiden sich nicht signifikant. Offenbar führt also der Einsatz des Modellbildungssystems dazu, dass mehr Auseinandersetzungen mit physikalischen Inhalten stattfinden.

Allerdings können noch keine Aussagen darüber gemacht werden, auf welcher Komplexitätsebene die Handlung bezüglich des physikalischen Inhaltsbereiches reguliert wird. Nach Hypothese (1) hängen die bei der Handlungsregulation erbrachten kognitiven Leistungen der Studierenden von der Art der Lernumgebung ab (siehe S. 71). Um diese Hypothese zu überprüfen, werden die Analyseergebnisse für die Kategorie PP herangezogen. Diese Kategorie bezeichnet Sprechhandlungen, bei denen physikalische Konzepte zueinander in Beziehung gesetzt werden (*manipulating ideas*). Sie zeigt an, dass die Handlungsregulation bezüglich des physikalischen Inhaltsbereiches auf der abstrakten kognitiven Ebene stattfindet. Es wird dann (physikalisch-) theoriegeleitet gehandelt (siehe Kap. 4-1, S. 23). Die Kategorie P dagegen zeigt an, dass physikalische Konzepte nur auf der deskriptiven Ebene zur Handlungsregulation benutzt werden. Abbildung 9.6 zeigt für die drei Gruppen die Anteile der mit diesen Kategorien kodierten Sprechhandlungen an der Praktikumszeit.

Aus Abbildung 9.6 wird deutlich, dass nur in einem äußerst geringen Teil der Praktikumszeit die Handlungsregulation auf der abstrakten kognitiven Ebene stattfindet. Während des allergrößten Teils wird die Handlung auf der deskriptiven Ebene reguliert. Für die Gruppen TRAD und MBL liegt der Anteil der abstrakten Ebene an der Praktikumszeit bei nur etwa 5%. Er ist damit nicht wesentlich höher als der Anteil versuchsfremder Sprechhandlungen (X), bei den Vpn der Gruppe TRAD sogar geringer (sic!). Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, schneiden deutlich besser ab. Tabelle 9.6 zeigt, dass bezüglich der abstrakten Ebene ein signifikanter Unterschied zu den beiden anderen Gruppen besteht. Die Post-Hoc-Tests bestätigen, dass sowohl der Unterschied TRAD-MBS als auch der Unterschied MBL-MBS statistisch signifikant ist ($p<0.01$). Dagegen unterscheiden sich die Gruppen TRAD und MBL nicht signifikant.

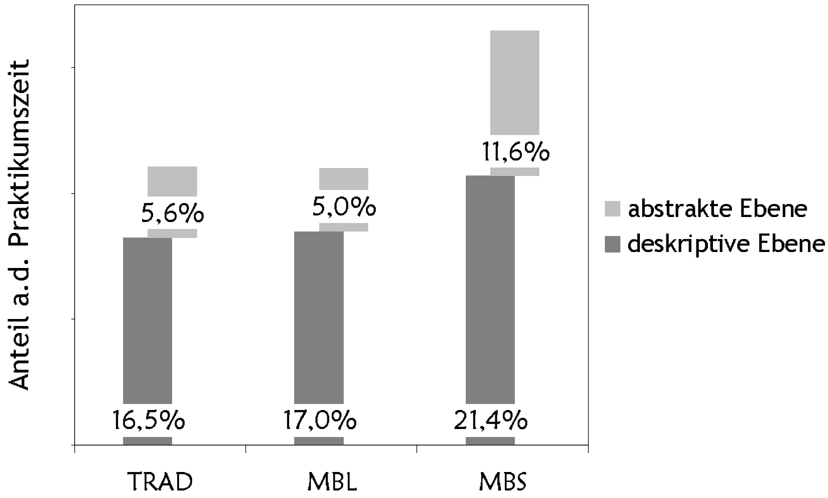


Abbildung 9.6: Mittlere Anteile der Kategorien P (deskriptive kognitive Ebene) und PP (abstrakte kognitive Ebene) an der Praktikumszeit für die Gruppen TRAD, MBL und MBS (vgl. Abb. 9.6).

KATEGORIE	TRAD	MBL	MBS	DF	F	P
P	16,5 %	17,0 %	21,2 %	(2;14)	2.36	.131
PP	5,6 %	5,0 %	11,5 %	(2;14)	15.57	**.000**

Tabelle 9.6: Mittlere Anteile der Kategorien P (deskriptive kognitive Ebene) und PP (abstrakte kognitive Ebene) an der Praktikumszeit für die Gruppen TRAD, MBL und MBS (siehe auch Abb. 9.6).

Mit diesen Ergebnissen ist Hypothese (1a) bestätigt. Im traditionellen Praktikum findet die Handlungsregulation bezüglich physikalischer Inhalte auf der deskriptiven kognitiven Ebene statt.

Auch Hypothese (1c) ist bestätigt. Verglichen mit den Gruppen TRAD und MBL findet in der Gruppe MBS die Handlungsregulation bezüglich physikalischer Inhalte häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt. Der Einsatz eines Modellbildungssystems fördert also die Auseinandersetzung mit der physikalischen Theorie des Praktikumsexperiments.

Hypothese (1b) muss dagegen verworfen werden. Es kann nicht gezeigt werden, dass der Einsatz computergestützter Messwerterfassung die Auseinandersetzung mit der physikalischen Theorie des Experiments fördert. Die Handlungsregulation findet nicht häufiger auf der abstrakten Ebene statt als im traditionellen Praktikum.

9-4 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN TÄTIGKEITEN UND SPRECHHANDLUNGEN

Die im letzten Abschnitt dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die gesamte Praktikumszeit. Damit sind nur eingeschränkt Aussagen über die Ursachen der nachgewiesenen Effekte möglich. In diesem Abschnitt wird genauer untersucht, woher die in den ersten beiden Abschnitten beschriebenen Unterschiede zwischen den drei Gruppen

TRAD, MBL und MBS stammen. Die Ergebnisse der Tätigkeitsanalyse einerseits und der Analyse der Sprechhandlungen andererseits wurden bisher getrennt betrachtet. Nun werden beide Kategoriesysteme zeitbezogen miteinander verknüpft. Wie in Kapitel 8-1 (S. 54) dargestellt gehört zu einer Kodierung mit Kategoriesystem A (Tätigkeiten) jeweils eine Kodierung mit Kategoriesystem B (Sprechhandlungen). So können Aussagen darüber gemacht werden, bei welchen Tätigkeiten welche Inhaltsbereiche von den Sprechhandlungen der Studierenden berührt werden, und auf welcher (physikbezogenen) kognitiven Ebene die Handlungsregulation dabei stattfindet. Es wird also untersucht, welche Tätigkeiten während der Praktikumsarbeit bestimmte kognitive Leistungen fördern.

Hierzu wird eine Größe berechnet, die im Folgenden als *Dichte* einer Verbalkategorie bezeichnet wird. Verbalkategorien sind die fünf zur Erfassung der Sprechhandlungen benutzten Kategorien. Die Dichte einer Verbalkategorie ist der Quotient aus der Anzahl der Sprechhandlungen dieser Kategorie, die zusammen mit einer bestimmten Tätigkeit auftreten, und der Gesamtanzahl der mit der entsprechenden Tätigkeitskategorie kodierten Zeitschritte. Wird das Zutreffen einer bestimmten Kategorie zu einem gegebenen Zeitpunkt mit 1 kodiert, so ist die Dichte einer Verbalkategorie bezüglich einer Tätigkeitskategorie durch Formel 9.1 gegeben. Diese Größe hat den Vorteil, dass sie von der Gesamtdauer der Praktikumsarbeit einer Vpn und von den Zeiten, die eine Vpn mit den einzelnen Tätigkeiten verbringt, unabhängig ist.

$$Dichte(K_i)_{K_j} = \frac{N(K_i \cdot K_j)}{N(K_j)}$$

Formel 9.1: Dichte einer bestimmten Art von Sprechhandlungen (Kategorie K_i) bezüglich einer bestimmten Tätigkeit (Kategorie K_j), wenn das Zutreffen einer Kategorie mit 1 kodiert wird.

Bei der Untersuchung der Dichten werden die Tätigkeiten LG (Versuchsanleitung) und SL (Schreiben/Lesen) nicht mehr berücksichtigt. Die Tätigkeit SL spielt im Vergleich zu den übrigen Tätigkeiten keine bedeutende Rolle bei der Praktikumsarbeit (s.o.). Bezüglich der Verwendung der Versuchsanleitung (LG) lassen sich, wie oben begründet, keine zuverlässigen Aussagen machen. Des Weiteren bleiben die Tätigkeiten X (versuchsfremde Aktivitäten) und CMA (softwarespezifische Aktivitäten) unberücksichtigt, da während dieser Tätigkeiten keine inhaltlich relevanten Sprechhandlungen vorkommen können. Für die Gruppe TRAD werden außerdem keine Angaben bezüglich der Tätigkeit DM (Auswertungen) gemacht. Wie oben gezeigt, ist diese Tätigkeit im traditionellen Praktikum sehr selten. Darum erlauben die Analyseergebnisse hier keine verlässlichen Aussagen. Das gilt nicht für das computergestützte Praktikum, da dort die Tätigkeit DM sehr häufig auftritt (s.o.).

Inhaltsbereich Messung

Abbildung 9.7 zeigt für die drei Gruppen TRAD, MBL und MBS die Dichte messbezogener Sprechhandlungen bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten.

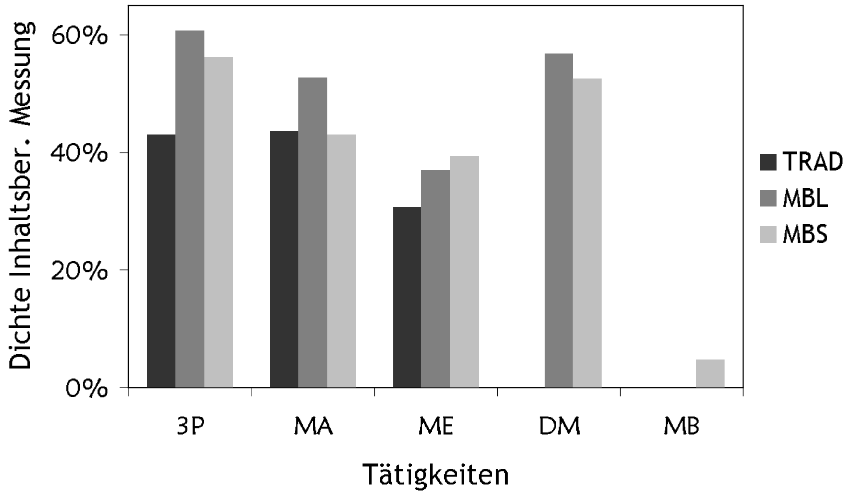


Abbildung 9.7: Mittlere Dichten messbezogener Sprechhandlungen der Vpn der Gruppen TRAD, MBL und MBS bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten (vgl. Tab. 9.7).

KATEGORIE	TRAD	MBL	MBS	DF	F	P
3P	43,0 %	60,8 %	56,2 %	(2;14)	4.424	**.032**
MA	43,6 %	52,7 %	43,0 %	(2;14)	1.921	.183
ME	30,7 %	37,0 %	39,4 %	(2;14)	1.945	.180
DM	-	56,8 %	52,5 %	(2;8)	.856	.460
MB	-	-	4,8 %	(2;3)	.00	1.000

Tabelle 9.7: Mittlere Dichten messbezogener Sprechhandlungen der Vpn der Gruppen TRAD, MBL und MBS bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten (vgl. Abb. 9.7).

Bezüglich der Tätigkeiten 3P, MA und DM haben messbezogene Sprechhandlungen eine Dichte von über 40%. Das bedeutet, dass in über 40% der Zeit, in der eine dieser Tätigkeiten ausgeübt wird, messbezogene Sprechhandlungen auftreten. Beim Messen (ME) ist die Dichte etwas geringer (rund 35%), und während der Modellbildung (MB) treten messbezogene Sprechhandlungen fast gar nicht auf. Das bedeutet, dass das Modellbildungssystem ein Werkzeug zur Gestaltung des Praktikums ist, das ausschließlich auf eine Beschäftigung physikalischen Inhalten zielt.

Tabelle 9.7 zeigt nur für die Tätigkeit 3P einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen. Abb. 9.7 zeigt, dass für diese Tätigkeit der Dichtewert bei den Vpn der „computergestützten“ Gruppen höher liegt als bei den Vpn der „traditionellen“ Gruppe. Ein möglicher Grund für einen Unterschied zwischen traditioneller und computergestützter Praktikumsarbeit könnte darin liegen, dass die Vpn im computergestützten Praktikum zusätzliche Tätigkeiten wie Datenauswertungen, Simulationen, etc. ausüben. Dabei kommt es auch zu Interaktionen mit dem Betreuer, welche die Dichte messbezogener Sprechhandlungen bezüglich der Tätigkeit 3P erhöhen könnten. Dieser Effekt müsste sich bei beiden Gruppen, MBL und MBS, beobachten lassen. Die Post-Hoc-Tests zeigen jedoch, dass sich nur die Dichten der Gruppen TRAD und MBL signifikant unterscheiden ($p<0.05$). Der Befund ist daher nicht eindeutig.

Auch weiter oben (S. 81 bzw. Abb. 9.4, S. 80) trat bereits ein signifikanter Effekt bezüglich des Inhaltsbereichs Messung auf, der sich nicht mit dem Computereinsatz erklären ließ: Über die gesamte Praktikumszeit gesehen treten bei den Vpn der Gruppe TRAD signifikant mehr messbezogene Sprechhandlungen auf als für die Vpn der „computergestützten" Gruppen. Mit den Ergebnissen in Abb. 9.7 kann dieser Befund erklärt werden. Dort haben die Vpn der MBL-Gruppe bezüglich aller Tätigkeiten außer ME geringfügig höhere Dichten messbezogener Sprechhandlungen. Zwar ist keiner dieser Unterschiede (außer dem eben angesprochen bezüglich der Tätigkeit 3P) signifikant, über die gesamte Praktikumszeit führen diese Unterschiede aber zu dem in Abb. 9.4 beobachteten Effekt.

Es lässt sich nicht eindeutig klären, wodurch die beobachteten Unterschiede zwischen den Gruppen TRAD und MBL bezüglich des Inhaltsbereichs Messung verursacht werden. Möglicherweise sind Beobachtungsfehler die Ursache. In Kapitel 8 war das Kodieren der Kategorie M die größte Fehlerquelle bei der Beobachterübereinstimmung. Allerdings ist auffällig, dass systematisch über alle Tätigkeiten hinweg mehr messbezogene Sprechhandlungen bei den Vpn der MBL-Gruppe auftreten als bei den anderen Vpn. Dies spricht gegen einen Beobachtungsfehler. Eine andere mögliche Erklärung wären daher Unterschiede im Vorwissen der Vpn. Dies müsste sich anhand der Begriffsnetze überprüfen lassen. Darum werden die hier diskutierten Befunde an späterer Stelle nochmals aufgegriffen (siehe Kap. 11-2 bzw. 11-3).

Inhaltsbereich Physik

Um zu untersuchen, welche Tätigkeiten im Praktikum die Anwendung physikalisch-theoretischen Wissens fördern, werden die Dichten der abstrakten kognitiven Ebene betrachtet (Kategorie PP, s.o.). Sie sind in Abbildung 9.8 dargestellt.

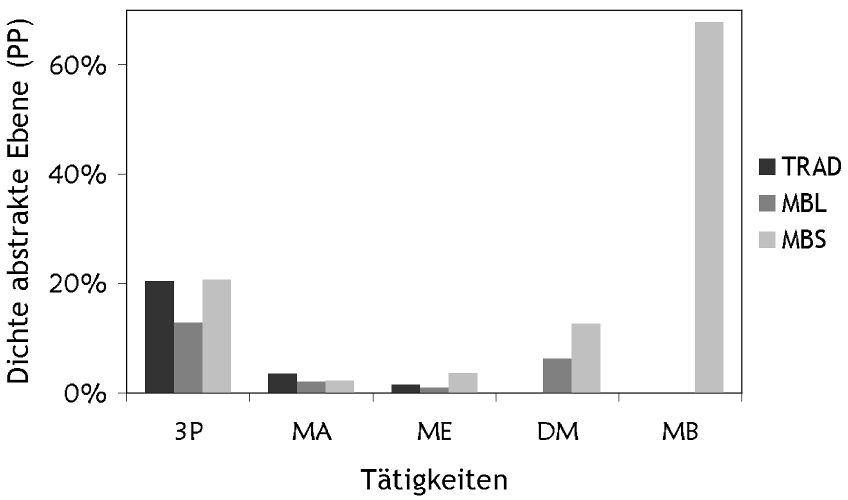


Abbildung 9.8: Mittlere Dichten physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten kognitiven Ebene der Vpn der drei Gruppen TRAD, MBL und MBS bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten (vgl. Tab. 9.8).

KATEGORIE	TRAD	MBL	MBS	DF	F	P
3P	20,5 %	12,9 %	20,7 %	(2;14)	1.33	.295
MA	3,6 %	2,2 %	2,2 %	(2;14)	1.35	.290
ME	1,5 %	1,0 %	3,7 %	(2;14)	4.28	.068
DM	-	6,3 %	12,6 %	(2;8)	2.47	.146
MB	-	-	67,8 %	(2;3)	.00	1.000

Tabelle 9.8: Mittlere Dichten physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten kognitiven Ebene der Vpn der Gruppen TRAD, MBL und MBS bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten (vgl. Abb. 9.8).

Man erkennt, dass die Dichte der theoriebezogenen Sprechhandlungen weniger homogen über die Tätigkeiten verteilt ist als die der messbezogenen Sprechhandlungen (Abb. 9.7). Es gibt einen deutlichen Unterschied zwischen den Tätigkeiten MA, ME und DM einerseits - hier liegt die Dichte kaum über 10% - und den Tätigkeiten 3P und MB andererseits. Diese Tätigkeiten scheinen wesentlich förderlicher für die Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten zu sein. Dies gilt insbesondere für die Modellbildung (MB). Hier beträgt die Dichte physikbezogener Sprechhandlungen fast 70%. Das bedeutet, dass sich die Sprechhandlungen der Studierenden während eines Großteils der Zeit, in der sie am Computermodell arbeiten, auf physikalische Zusammenhänge beziehen. Die Höhe dieses Dichtewertes ist nicht überraschend, da eine Modellerstellung mit STELLA gar nicht möglich ist, ohne sich mit der physikalischen Theorie des Versuchs zu beschäftigen. Die Ergebnisse belegen jedoch, dass die Modellbildung die einzige Tätigkeit im Praktikum ist, die (physikalisch-) theoriegeleitetes Handeln deutlich voraussetzt. Sie zeigen außerdem, dass der höhere Anteil physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten Ebene an der gesamten Praktikumszeit für die Gruppe MBS (siehe Abb. 9.6, S. 84) sich fast ausschließlich auf die Tätigkeit der Modellbildung zurückführen lässt.

Um die Ergebnisse besser einschätzen zu können, ist es hilfreich, ähnlich wie schon in Abschnitt 9-1 (vgl. Abb. 9.3, S. 77), auch die auf objektbezogene Sprechhandlungen reduzierten Dichtewerte zu betrachten. Sie sind in Abbildung 9.9 dargestellt. Dabei werden Zeitschritte mit Sprechhandlungen, die sich nicht auf reale Objekte, sondern auf Daten oder Symbole beziehen, nicht berücksichtigt. Wie oben gezeigt, bedeutet dies, dass Tätigkeiten, die im Zusammenhang mit dem Computereinsatz stehen, nicht berücksichtigt werden.

Man erkennt, dass in Abbildung 9.9 gegenüber der die gesamte Praktikumszeit umfassenden Darstellung (Abb. 9.8) die Dichten bezüglich der Tätigkeiten DM und MB sehr klein sind. Außerdem werden die Dichtewerte der Gruppe MBS auch bezüglich der Tätigkeit 3P (Dritte Person) kleiner. Das liegt daran, dass bei dieser Darstellung die Interaktionen mit dem Betreuer wegfallen, die sich auf die Benutzung des Modellbildungssystems beziehen.

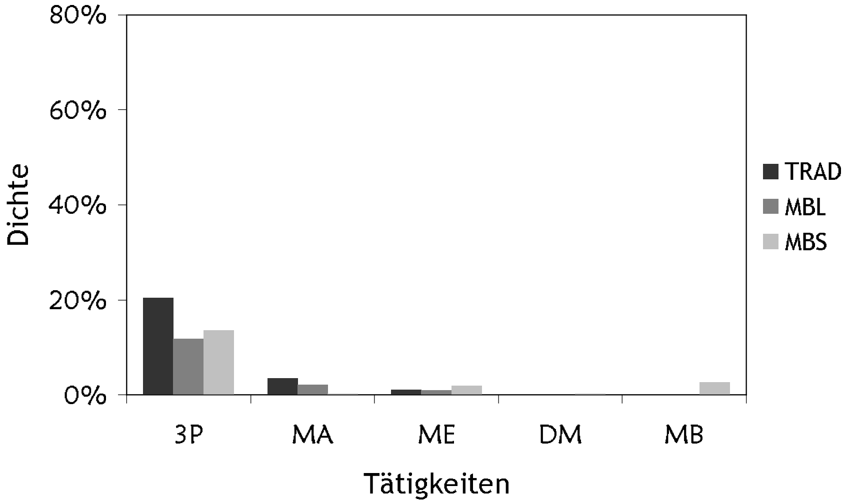


Abbildung 9.9: Mittlere Dichten physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten kognitiven Ebene, wenn Zeitschritte, in denen die Sprechhandlungen sich auf Daten oder Symbole beziehen, unberücksichtigt bleiben (zum Vergleich siehe Abb. 9.8).

Der Vergleich der Abbildungen 9.8 und 9.9 zeigt, dass, abgesehen von der Tätigkeit 3P, mit der Entfernung des Computers aus dem Praktikum auch jeder Anreiz für die Studierenden entfällt, während der Praktikumsarbeit physikalisch-theoretisches Wissen anzuwenden. Damit sind, obwohl Tabelle 9.8 keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen zeigt, drei wesentliche Ergebnisse festzuhalten:

- Unter den im traditionellen Praktikum auftretenden Tätigkeiten (3P, MA, ME) ist allein die Interaktion mit dem Betreuer Anlass für das Auftreten physikbezogener Sprechhandlungen in der Kategorie PP. Dagegen leisten die beiden Tätigkeiten, mit denen die weitaus meiste Zeit im Praktikum verbracht wird (MA und ME) praktisch keinen Beitrag zur Förderung physikbezogener Sprechhandlungen. Dies führt dazu, dass die Handlungsregulation im Praktikum größtenteils auf der deskriptiven kognitiven Ebene stattfindet (s.o.; Hypothese 1a). Nach den Ergebnissen in Abb. 9.8 ist die einzige Möglichkeit, dies zu ändern, ohne die Lernumgebung grundsätzlich umzugestalten oder den Computer einzusetzen, eine gezielte und intensive Betreuung. Der nicht sehr hohe Theorie-Dichtewert bezüglich der Tätigkeit 3P von etwa 20%, in dem auch das vor Beginn des Experiments mit den Studierenden durchgeführte Kolloquium enthalten ist (siehe Kap. 6-1), weist daraufhin, dass sich der größte Teil der Interaktionen zwischen Studierenden und Betreuer auf technische oder methodische Aspekte des Experiments bezieht. Offenbar lässt sich die Betreuung der Praktikumsarbeit im Hinblick auf die Beschäftigung mit der physikalischen Theorie des Experiments noch verbessern.
- Auch der Einsatz des Computers zur Messwerterfassung ändert an dieser Situation nichts. Die Dichten physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten Ebene bezüglich der Aktivitäten 3P, MA und ME erhöhen sich dadurch nicht. Jedoch ermöglicht die computergestützte Messwerterfassung Auswertungen in direktem Zusammenhang mit den Messungen. Diese Tätigkeit (DM) kann die Handlungsregulation auf der abstrakten Ebene fördern. Allerdings sind die Dichtewerte bezüglich der

Tätigkeit DM überraschend gering, sie liegen unter 10%. Auf diesen Befund wird weiter unten, im Zusammenhang mit der Analyse der Videoaufzeichnungen der Versuchsauswertung, näher eingegangen.

- Der Computer kann einen bedeutenden Beitrag leisten, um die Handlungsregulation auf der abstrakten kognitiven Ebene zu fördern und damit die Voraussetzungen für Physiklernen im Praktikum zu verbessern. Allerdings gelingt dies nur dann, wenn er über die reine Messwerterfassung hinaus zur Modellbildung genutzt wird. Die Vpn der MBS-Gruppe führen auch Simulationen durch. Abbildung 9.9 zeigt jedoch, dass die mit der Simulation verbundenen Aktivitäten, die in den Tätigkeiten MA und ME enthalten sind, die Handlungsregulation auf der abstrakten kognitiven Ebene nicht ersichtlich fördern. Nach Kapitel 3-3 lassen sich Simulationen durchführen, ohne dass eine Auseinandersetzung mit physikalischen Zusammenhängen stattfinden muss. Dies trifft auch bei diesem Praktikumsversuch zu. Ist das Modell zu Versuch II einmal fertiggestellt, so geht es in der Folge darum, die Frequenz, bei der der Amplitudensprung stattfindet, möglichst genau vorherzusagen. Hierfür werden zahlreiche Simulationen durchgeführt, wobei jedes Mal die Frequenzbereiche etwas verändert werden. Dies ist eine Routinearbeit, ähnlich dem Aufnehmen von Messwerten, zu der es geringer kognitiver Leistung bedarf.

Weitere Ergebnisse

Bereits in Abschnitt 9-2 (S. 79) wurde eine Beobachtung geschildert, die sich nicht direkt in den Ergebnissen der Videoanalyse erkennen lässt, diese aber ergänzt. Dort wurde beschrieben, dass die Vpn der Gruppen TRAD und MBL den Amplitudensprung des Pendels bei der kritischen Frequenz nicht bemerken. Nur Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, achten im Bereich der kritischen Frequenz auf das Schwingungsverhalten des Pendels, da sie das Experiment simulieren, um die kritische Frequenz vorherzusagen. Der Simulation kommt also, obwohl sie, wie oben gezeigt, nicht die Auseinandersetzung mit physikalischer Theorie fördert, eine wichtige Rolle bei der Praktikumsarbeit zu: Sie hilft den Studierenden, ihre Absichten zu konkretisieren und ihre Handlungen an den damit verbundenen Zielen auszurichten.

Eine weitere Beobachtung betrifft den Computereinsatz zur Messwerterfassung. Wie oben gezeigt, wird, über die gesamte Praktikumszeit betrachtet, die Handlungsregulation auf der abstrakten kognitiven Ebene durch die automatische Messwerterfassung nicht gefördert (Abschnitt 9-3). Dennoch kann in einigen Szenen der Videoaufzeichnungen beobachtet werden, dass die computerunterstützte Anordnung durch die Visualisierung der Schwingungsvorgänge Anknüpfpunkte für physikbezogene Diskussionen bietet. Beispielsweise können die Studierenden beim Einstellen der Sprungfrequenz der nichtlinearen Schwingung die Entwicklung der Phase von kleinen zu großen Phasenverschiebungen am Computerbildschirm verfolgen (siehe Kap. 7-1). In einem Fall führt dies dazu, dass die betreffenden Studierenden über das Verhältnis von Amplitude und Phase diskutieren. Im traditionellen Setting ist dieser Anknüpfpunkt nicht gegeben, da die Phasenwerte am digitalen Zeitmessgerät abgelesen werden. In einem weiteren Fall kommt es bei der Betrachtung der Einschwingvorgänge auf dem Computerbildschirm zu einer Diskussion über Oberschwingungen. Es handelt sich um eine Fehlvorstellung des betreffenden Studenten, der die Schwankungen der Amplitude während des Einschwingvorgangs für Oberschwingungen hält. Die Visualisierung der Einschwingvorgänge kann als Anknüpfpunkt dienen, um die Problematik anzusprechen und Fehlvorstellungen auszuräumen.

In der vorliegenden Untersuchung findet der Computereinsatz im Kontext des traditionellen Praktikums statt. Dies begründet sich mit dem Untersuchungsdesign: Alle Rahmenbedingungen (Zeitrahmen, Anleitung, Betreuung, usw.) wurden konstant gehalten, um Unterschiede in der Handlungsregulation und im Wissenserwerb zwischen den Gruppen auf den Computereinsatz zurückführen zu können (vgl. Kap. 6-3). Wie eben beschrieben lassen sich beim Einsatz computergestützter Messwerterfassung durchaus Ereignisse beobachten, die den in Kapitel 3-2 dargestellten positiven Befunden zu MBLs entsprechen. Es handelt sich aber nur um einzelne Ereignisse, die im Kontext des traditionellen Praktikums nicht zur Geltung kommen. Die Studierenden befassen sich, wie weiter oben gezeigt, im Praktikum hauptsächlich mit dem Aufnehmen von Messwerten. Sie profitieren daher nicht so, wie es möglich wäre von den Möglichkeiten des Computers, da sie andere Ziele verfolgen. Demnach macht ein Computereinsatz vor allem dann Sinn, wenn auch die Rahmenbedingungen des Praktikums (Zeitrahmen, Anleitung, Betreuung, usw.) verändert werden.

9-5 ERGEBNISSE ZUR VERSUCHSAUSWERTUNG

In diesem Abschnitt werden die Analyseergebnisse zur Versuchsauswertung dargestellt. Wie die bisherigen Ergebnisse beziehen sie sich auf Versuch II. Wie in Kapitel 6 beschrieben, führten die Vpn die Versuchsauswertung, sofern sie nicht bereits im Zusammenhang mit den Messungen im Praktikum stattgefunden hatte, an einem der auf die Versuchsdurchführung folgenden Tage durch. Die Vpn hatten hierzu einen mit PC ausgestatteten Arbeitsplatz zur Verfügung. Es war ihnen freigestellt, den PC zur Auswertung zu nutzen oder nicht. Fast alle Vpn, auch die der „traditionellen“ Gruppe, machten davon Gebrauch. Die von den Vpn mit diesen Auswertearbeiten verbrachte Zeit wird im Folgenden - analog zur Praktikumszeit - als *Auswertezeit* bezeichnet.

Bei der Versuchsauswertung werden andere Tätigkeiten als bei der Versuchsdurchführung ausgeübt. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Rechen- und Schreibarbeiten. Den Videoaufzeichnungen der am Schreibtisch arbeitenden Vpn lässt sich nicht eindeutig entnehmen, welche Tätigkeit zu einem gegebenen Zeitpunkt ausgeübt wird. Aus diesem Grund werden nur Sprechhandlungen kodiert. Dazu werden die gleichen Kategorien benutzt wie bei der Analyse der Versuchsdurchführung.

Insgesamt wurden nur drei Videoaufzeichnungen von Versuchsauswertungen analysiert (vgl. Kap. 8-4). Dafür gibt es zwei Gründe. Zum einen ließen sich die Rahmenbedingungen der Videoaufzeichnungen nur schwer kontrollieren. Unter anderem gab es häufig Terminprobleme, da die Auswertungen sehr lange dauern. Von kaum einer Vpn-Gruppe konnte daher die komplette Datenauswertung einschließlich Protokollerstellung auf Video aufgezeichnet werden (vgl. Kap. 7-3). Zum anderen zeigte sich, dass durch eine komplette Analyse aller Aufzeichnungen keine Ergebnisse gewonnen werden, die über die aus der Analyse der Versuchsdurchführung gewonnenen Ergebnisse hinausgehen.

Zum Ablauf der Auswertung

Auch bei den drei analysierten Videoaufzeichnungen gibt es erhebliche Unterschiede im Zeitrahmen und in den Inhalten der Auswertearbeit der Vpn.

Die erste der beobachteten Zweiergruppen (TRAD) verbringt ca. 3h mit der Auswertung. Diese Vpn führen die komplette Datenauswertung nach der Versuchsdurchführung durch, da sie bei der Versuchsdurchführung keinen Computer zur Verfügung haben. Jedoch hat eine der beiden Vpn das Versuchsprotokoll bereits vor der Praktikumsarbeit erstellt und nur den Teil für die Messergebnisse noch weg gelassen. Diese Arbeitsteilung entspricht durchaus dem üblichen Vorgehen. Eine Auseinandersetzung mit dem Experiment, über die Versuchsdurchführung hinaus, findet also nicht bei allen Vpn statt.

Das zeigt sich auch bei der zweiten Zweiergruppe (MBL). Sie beendet die Auswertearbeit nach ca. 50 Minuten, nach Durchführung der Fehlerrechnung, mit der Bemerkung: „Was sollen wir noch hier?" Diese Vpn haben, da sie mit computergestützter Messwerterfassung arbeiten, einen großen Teil der Auswertung bereits im Zusammenhang mit den Messungen erledigt. Das eigentliche Protokoll wird dann wiederum von einer der beiden Vpn zu Hause erstellt.

Die dritte Zweiergruppe (MBS) verbringt ca. 3,5 h mit der Auswertung. Auch diese Vpn haben bereits einen Teil der Auswertungen im Zusammenhang mit den Messungen erledigt. Trotzdem nehmen sie sich wesentlich mehr Zeit für die Nacharbeitung des Experiments als die zweite der beobachteten Gruppen. Sie schreiben während der Auswertezeit auch am Protokoll. Wie bei der ersten Gruppe ist dieses jedoch bereits vor der Versuchsdurchführung erstellt worden und wird nur noch um den Ergebnisteil ergänzt.

Analyseergebnis

Mit der Analyse der Videoaufzeichnungen der Versuchsdurchführung soll untersucht werden, ob die Studierenden bei der Auswertung ihre Handlung häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene (physikalisch-theoriegeleitet) regulieren, als während der Versuchsdurchführung. Aufgrund der kleinen Stichprobengröße (N=2 pro Gruppe) werden die Ergebnisse nicht varianzanalytisch ausgewertet. Da eine Unterscheidung zwischen den Gruppen TRAD, MBL und MBS zu keinen aussagefähigen Ergebnissen führt, werden die Mittelwerte über alle sechs beobachteten Vpn gebildet.

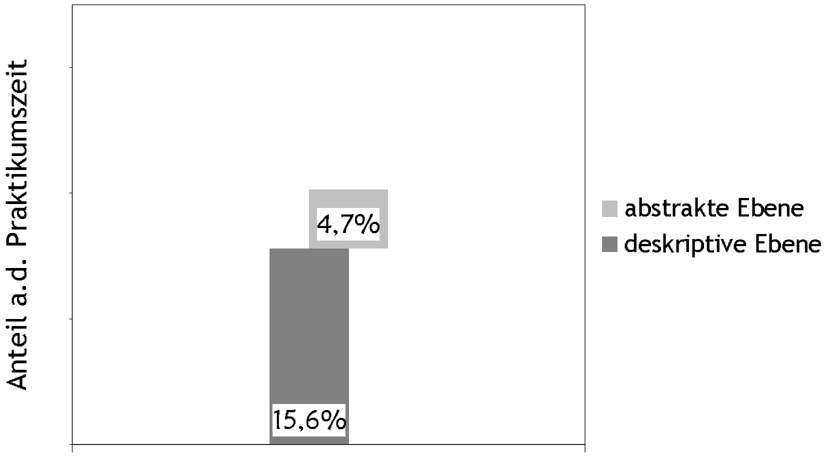


Abbildung 9.10: Mittlere Anteile der Kategorien P (deskriptive kognitive Ebene) und PP (abstrakte kognitive Ebene) an der Auswertezeit. Es sind die Mittelwerte über die sechs bei der Versuchsauswertung beobachteten Vpn dargestellt.

Abbildung 9.10 stellt, analog zu Abbildung 9.6, die Anteile physikbezogener Sprechhandlungen auf den beiden Komplexitätsniveaus an der Auswertezeit dar. Es wird deutlich, dass auch bei der Versuchsauswertung die Handlungsregulation nur sehr selten (in weniger als 5% der Auswertezeit) auf der abstrakten kognitiven Ebene stattfindet. Dies bestätigt das schon im Zusammenhang mit der Analyse der Versuchsdurchführung erhaltene Ergebnis bezüglich der Tätigkeit DM (Auswertearbeiten). Dort wurde deutlich, dass diese Tätigkeit die Handlungsregulation auf der abstrakten Ebene nicht in besonderem Maße fördert (siehe S. 89). Dies widerspricht den Erwartungen. Von Hochschullehrern wird davon ausgegangen, dass sich die Studierenden spätestens bei der Versuchsauswertung mit der physikalischen Theorie des Experiments auseinandersetzen. Träfe die Annahme zu, müsste ein deutlich höherer Anteil theoriebezogener Sprechhandlungen beobachtet werden.

Der Befund lässt sich erklären, wenn man davon ausgeht, dass die Studierenden während der Versuchsauswertung vor allem Fehlerrechnungen durchführen und die erwünschten Endergebnisse berechnen. Dank der detaillierten Versuchsanleitung ist hierzu eine Auseinandersetzung mit der physikalischen Theorie des Experiments nicht notwendig. Die benötigten Formeln sind vorgegeben und müssen nur umgeformt werden. Auch die Beobachtung, dass der physikalisch-theoretische Teil des Versuchsprotokolls häufig bereits vor der Durchführung des Experiments fertiggestellt wird, macht das Analyseergebnis plausibel. Ob sich die Studierenden mit der physikalischen Theorie des Experiments befassen hängt also offenbar vor allem von der Bereitschaft der Studierenden ab, sich über die vorgeschriebene Praktikumsarbeit hinaus, z. B. bei der Vorbereitung auf den Versuch, zu engagieren.

9-6 ERGEBNISSE ZU VERSUCH I

Die bisher vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf ein einzelnes Praktikumsexperiment („Anharmonische Schwingungen"). Da in der Untersuchung zwei Treatment-Experimente eingesetzt werden, ist es möglich, diese Ergebnisse an einem weiteren Versuch zu überprüfen. Bestätigen sich die Befunde, ist dies ein Hinweis darauf, dass die Ergebnisse über ein spezielles Praktikumsexperiment hinaus Gültigkeit haben.

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf Versuch I („Relaxationsverhalten eines RC-Kreises"). Wegen des hohen Zeitaufwands der Analyse wurden nicht alle Videoaufzeichnungen analysiert. Es erfolgte eine Beschränkung auf sechs Studierende, zwei (eine Zweiergruppe) aus jeder der Gruppen TRAD, MBL und MBS. Die Vpn wurden zufällig ausgewählt. In diesem Abschnitt werden die gleichen Ergebnisgraphen betrachtet wie zu Versuch II. Wegen der kleinen Stichprobengrößen (N=2 pro Gruppe) werden die Ergebnisse aber nicht varianzanalytisch untersucht.

Analyse der Tätigkeiten

Abbildung 9.11 zeigt, analog zu Abbildung 9.1, die Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit.

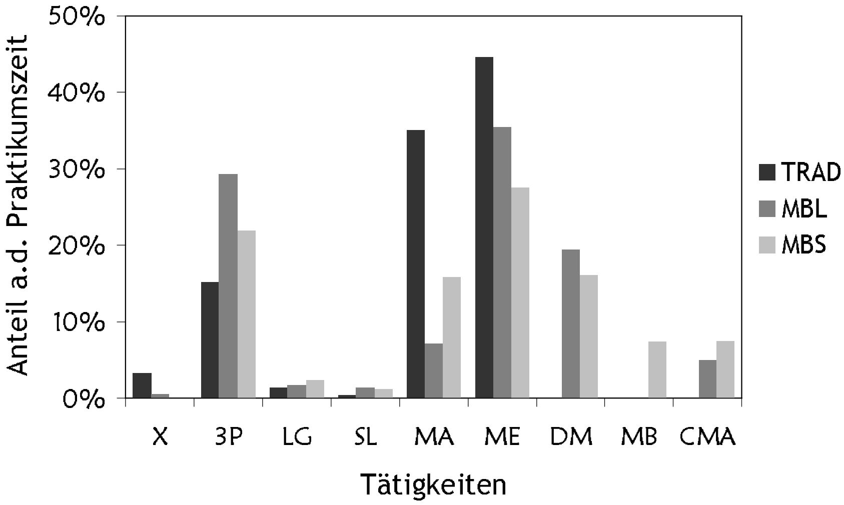


Abbildung 9.11: Mittlere Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit von Versuch I.

Die folgenden - oben bereits diskutierten - Ergebnisse der Analyse von Versuch II finden sich in Abbildung 9.11 wieder:

- Die Vpn der Gruppen MBL und MBS führen, im Gegensatz zu den Vpn der Gruppe TRAD, Auswertungen in direktem Zusammenhang mit den Messungen durch (Tätigkeit DM).
- Von den Vpn der „computergestützten" Gruppen werden etwa 5% der Praktikumszeit für die Tätigkeit CMA (softwarespezifische Aktivitäten) benötigt.

- Die Erstellung eines STELLA-Modells zum Versuch (Tätigkeit MB) nimmt nur etwa 10-20 Minuten in Anspruch (weniger als 10% der Praktikumszeit).
- Das Aufnehmen von Messwerten (ME) beansprucht den größten Teil der Praktikumszeit, gefolgt von den Tätigkeiten MA und 3P.
- Die Anteile der Tätigkeiten LG (Versuchsanleitung) und SL (Schreiben/Lesen) an der Praktikumszeit sind gering.
- Der Anteil der Tätigkeit X (versuchsfremde Aktivitäten) ist im traditionellen Praktikum deutlich höher als im computergestützten Praktikum.

Es gibt allerdings auch zwei wichtige Unterschiede zu den Ergebnissen der Analyse von Versuch II:

(1) Der Anteil der Tätigkeit MA an der Praktikumszeit ist im traditionellen Praktikum (Gruppe TRAD) mehr als doppelt so hoch wie im computergestützten Praktikum (Gruppen MBL und MBS). Dieser deutliche Unterschied lässt sich nicht mit zufälligen Schwankungen durch die kleinen Stichprobengrößen erklären. Er lässt sich auf Unterschiede im Versuchsaufbau zurückführen. Im computerunterstützten Experiment wird der XY-Schreiber durch den Computer ersetzt. Dies ein erheblicher Eingriff in den Versuchsaufbau. Bei Verwendung des XY-Schreibers müssen von den Vpn zahlreiche Justierungen, Einstellungen und Anschlüsse vorgenommen werden. Bei Verwendung des Computers zur Messwertaufnahme fallen diese Aktivitäten weg. Dies führt zu einem deutlich geringeren Anteil der Tätigkeit MA an der Praktikumszeit.

Dies zeigt, dass, je nach Experiment, der Computer die Versuchsanordnung und damit die Handlungen der Studierenden, beträchtlich verändern kann. Vor dem Einsatz des Computers muss daher analysiert werden, welche Ziele mit dem jeweiligen Praktikumsexperiment erreicht werden sollen.

(2) Der Anteil der Tätigkeit 3P an der Praktikumszeit ist für die „computergestützten“ Gruppen höher als für die „traditionelle“ Gruppe. Dieser Unterschied ist bei den Ergebnissen zu Versuch I (Abb. 9.1) nicht zu beobachten (er fällt dort sogar umgekehrt aus). Der Grund liegt vermutlich darin, dass die Vpn bei der Durchführung von Versuch I zum ersten Mal den Computer im Praktikum benutzen. Dabei bitten sie den Betreuer häufiger um Hilfe als bei der wiederholten Benutzung des Computers in Versuch II. Dies zeigt, dass, wie bei der Konzeption der Untersuchung postuliert (siehe Kap. 6-3), Probleme bei der Computerbenutzung bei der Durchführung von Versuch II vermutlich keine bedeutende Rolle mehr spielen. Die Untersuchungsergebnisse werden dadurch also nicht beeinflusst.

Analyse der Sprechhandlungen

Abbildung 9.13 zeigt, analog zu Abbildung 9.4, die Anteile der von den Sprechhandlungen der Vpn berührten Inhaltsbereiche an der Praktikumszeit.

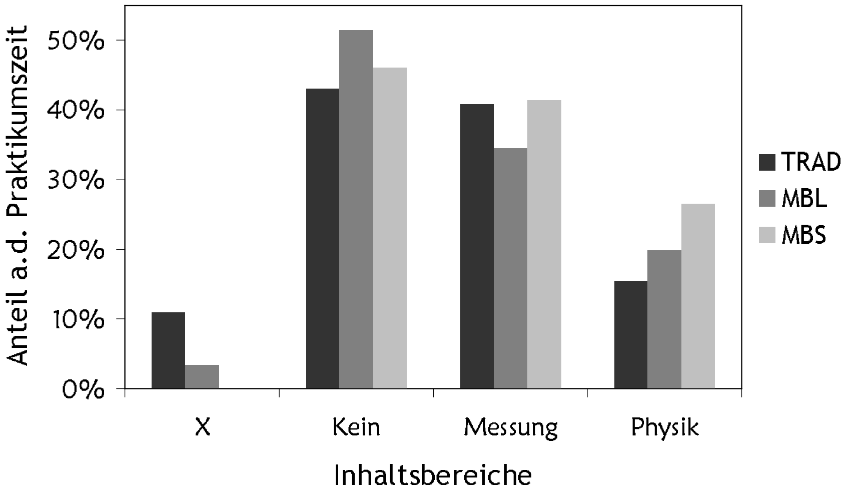


Abbildung 9.12: Mittlere Anteile der von den Sprechhandlungen der Studierenden berührten Inhaltsbereiche an der Praktikumszeit von Versuch I.

Alle anhand der Ergebnisse zu Versuch II bereits ausführlich diskutierten Befunde werden bestätigt:

- In etwa 40% der Praktikumszeit berühren die Sprechhandlungen der Studierenden keinen der Inhaltsbereiche Messung oder Physik.
- Ebenfalls in etwa 40% der Praktikumszeit berühren die Sprechhandlungen den Inhaltsbereich Messung.
- In nur rund 20% der Praktikumszeit sind die Sprechhandlungen physikbezogen.
- Die Vpn der Gruppe TRAD haben deutlich mehr versuchsfremde Sprechhandlungen (X) als die Vpn der „computergestützten“ Gruppen.
- Die Vpn der MBS-Gruppe haben im Inhaltsbereich Physik deutlich mehr Sprechhandlungen als die Vpn der Gruppen TRAD und MBL.

Inhaltsbereich Physik

In Abbildung 9.13 sind, analog zu Abbildung 9.6, die Anteile der Kategorien P (deskriptive kognitive Ebene) und PP (abstrakte kognitive Ebene) an der Praktikumszeit dargestellt. Auch hier werden die im Zusammenhang mit Versuch II diskutierten Ergebnisse bestätigt:

- Nur in einem sehr geringen Teil der Praktikumszeit regulieren die Vpn ihre Handlungen auf der abstrakten kognitiven Ebene. Bei den Vpn der MBS-Gruppe ist dies häufiger der Fall als bei den Vpn der Gruppe TRAD.

Im Unterschied zu den Ergebnissen zu Versuch II haben allerdings auch die Vpn der MBL-Gruppe mehr physikbezogene Sprechhandlungen auf der abstrakten Ebene als die der Gruppe TRAD. Die Frage ist, ob dieser hohe Wert auf den Einsatz der computergestützten Messwerterfassung zurückzuführen ist. Durch Betrachtung der Dichtewerte der Kategorie PP kann diese Frage beantwortet werden.

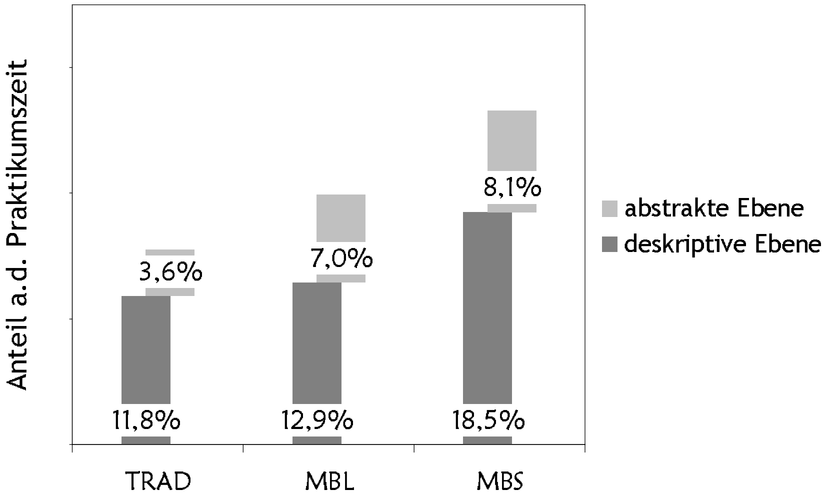


Abbildung 9.13: Mittlere Anteile der Kategorien P (deskriptive kognitive Ebene) und PP (abstrakte kognitive Ebene) an der Praktikumszeit von Versuch I.

Abbildung 9.14 zeigt, analog zu Abbildung 9.9, die Dichten physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten kognitiven Ebene bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten.

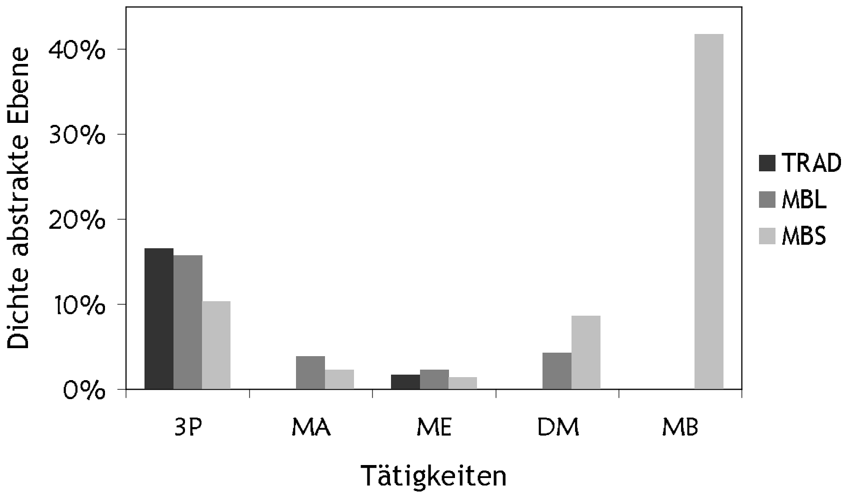


Abbildung 9.14: Mittlere Dichten physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten kognitiven Ebene bezüglich der verschiedenen Tätigkeiten in Versuch I.

Auch hier besteht eine große Übereinstimmung mit den bei der Analyse von Versuch II gefundenen Ergebnissen:

- Die Modellbildung (MB) ist die einzige Tätigkeit im Praktikum, die Beschäftigung mit physikalischer Theorie deutlich fördert. Die Durchführung von Simulationen dagegen (in den Kategorien MA bzw. ME enthalten) bietet diesbezüglich keinen Vorteil.
- Neben der Modellbildung hat nur die Interaktion mit dem Betreuer (3P) einen hohen Dichtewert physikbezogener Sprechhandlungen auf der abstrakten Ebene.

- Die Tätigkeiten Messen (ME) und Manipulieren (MA), mit denen während der Praktikumsarbeit die meiste Zeit verbracht wird, sind nicht förderlich für (physikalisch-) theoriegeleitetes Handeln. Auch der Einsatz des Computers zur Messwerterfassung ändert daran nichts.
- Das Durchführen von Auswertungen (DM) fördert die Benutzung physikalisch-theoretischen Wissens nicht in besonderem Maße.

Nun kann erklärt werden, warum bei Versuch I - im Gegensatz zu Versuch II - die MBL-Gruppe über die gesamte Praktikumszeit einen relativ hohen Anteil theoriebezogener Sprechhandlungen aufweist (siehe Abb. 9.13, vorhergehende Seite). Hierzu muss die Darstellung der Dichten (Abb. 9.14) mit der Darstellung der Tätigkeitsanteile an der Praktikumszeit (Abb. 9.11, S. 94) in Zusammenhang gebracht werden. Die einzige Tätigkeit mit einer relativ hohen Dichte theoriebezogener Sprechhandlungen für die Vpn der MBL-Gruppe ist die Tätigkeit 3P (Abb. 9.14). Dies ist nach Abb. 9.11 auch die einzige Tätigkeit, die diese Vpn häufiger ausüben als die Vpn der Gruppen TRAD und MBS. Also ist der hohe Anteil der Tätigkeit 3P an der Praktikumszeit die Ursache für den hohen Anteil theoriebezogener Sprechhandlungen in der Gruppe MBL. Indirekt ist dieser Befund jedoch auf den Einsatz des Computers zur Messwerterfassung zurückzuführen:

Bei der Praktikumsarbeit dieser Gruppe lag ein Messfehler vor, der nur dadurch entdeckt und korrigiert werden konnte, dass die Auswertung der Daten direkt im Anschluss an die Messung geschah. Die beiden Studierenden der MBL-Gruppe hatten im zweiten Teil der Versuchsdurchführung (siehe Kap. 7-1) die Schaltung falsch aufgebaut. Dies wurde zunächst nicht bemerkt. Die Vpn führten die Messung also bis zum Ende durch. Erst bei der Auswertung der Messwerte durch die graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Frequenz und Phase bzw. Amplitude mit dem Computer wurde deutlich, dass die Werte nicht stimmen könnten. Die Fehlersuche und Korrektur der Schaltung, bei der der Betreuer half, führte zu einer Diskussion über die der Messung zugrunde liegenden physikalischen Zusammenhänge. Diese Diskussion schlägt sich, wie oben gezeigt, in den Analyseergebnissen nieder. Die Schaltung wurde daraufhin verändert und die Messung wurde wiederholt.

Zur Rolle computergestützter Messwerterfassung

Diese Beobachtung zeigt, dass, obwohl Hypothese 1b verworfen werden musste (siehe S. 84), der Computer eine wichtige Rolle spielen kann, wenn er zur Messwerterfassung im Praktikum eingesetzt wird. Im traditionellen Praktikum erfolgt keine Überprüfung der Daten und Darstellung der Ergebnisse direkt im Anschluss an die Messung (vgl. Abschnitt 9-1). Die Kontrolle der Messwerte findet dort entweder durch den Betreuer statt, ohne dass die Studierenden selber wissen müssen, nach welchen Kriterien die Korrektheit der Werte beurteilt wird, oder der Fehler wird von den Vpn erst einige Tage später, im Zusammenhang mit der Datenauswertung, bemerkt. Eine Richtigstellung bzw. systematische Fehlersuche im Versuchsaufbau ist dann nicht mehr möglich.

Ein Versuchsablauf wie der beschriebene konnte allerdings nur in diesem einen Fall beobachtet werden. In der Regel sind die Messergebnisse der Studierenden korrekt. Das liegt daran, dass die Praktikumsarbeit durch die Versuchsanleitung und die

Betreuung so genau angeleitet wird, dass grobe Fehler beim Versuchsaufbau und bei der Durchführung der Messungen nur selten auftreten (Ausdruck eines Studenten: „Die Versuche klappen.“). Die Möglichkeit, die der Computer zur Rückmeldung, und damit zur Überprüfung und Korrektur der eigenen Handlungen, bietet, bleibt daher im Kontext des traditionellen Praktikums weitgehend ungenutzt. Um dieses Potential des Computers zu nutzen, müsste das Praktikum dahingehend verändert werden, dass den Studierenden Gelegenheit gegeben wird, Fehler zu machen und sie zu korrigieren.

9-7 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Kapitel wurden die Ergebnisse der Videoanalyse vorgestellt. Es wurde, anhand von Versuch II („Anharmonische Schwingungen“), Hypothese (1) überprüft, nach der die bei der Handlungsregulation im Praktikum erbrachten kognitiven Leistungen der Studierenden von der Art der Lernumgebung abhängen (siehe Anfang dieses Kapitels). Die Zusammenfassung ist in drei Abschnitte unterteilt, die sich auf die drei verschiedenen Lernumgebungen beziehen. Alle Darstellungen gelten, sofern nicht im Text anders vermerkt, für Versuch II.

Traditionelles Praktikum

Es wurde gezeigt, dass im traditionellen Praktikum die Handlungen der Studierenden in hohem Maße von der Versuchsanleitung bestimmt werden. Die Vorschriften der Versuchsanleitung und die zeitlichen und sozialen Rahmenbedingungen des Praktikums führen dazu, dass die Studierenden wenig Spielraum für Handlungsalternativen haben. Daher fallen, wenn man die an den Computereinsatz geknüpften Tätigkeiten nicht betrachtet, die Anteile der verschiedenen Tätigkeiten an der Praktikumszeit für alle Vpn ungefähr gleich hoch aus.

Das Durchführen von Messungen steht im Mittelpunkt der Praktikumsarbeit. Zwischen 40 und 60% der Praktikumszeit werden mit dem Aufnehmen von Messwerten verbracht. In rund 40% der Praktikumszeit beziehen sich die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden auf den Inhaltsbereich Messung. Das bedeutet, dass in diesem Zeitanteil die Handlungen von der Frage „Wie gelange ich zu gültigen Messergebnissen?“ geleitet sind. Des Weiteren zeigte sich, dass die Studierendem in einem großen Teil (40%) der Praktikumszeit ihre Handlung regulieren, ohne dass die handlungsleitenden Kognitionen physikalische oder methodische Aspekte des Praktikumsexperiments berühren. Das zeigt, dass die Studierenden sehr viele Routinetätigkeiten ausführen. Der zeitliche Anteil dieser Tätigkeiten wird vom Computereinsatz und vom Thema des Versuchs nicht beeinflusst, ist also auf die allgemeinen Rahmenbedingungen des traditionellen Praktikums zurückzuführen.

In nur rund 20% der Praktikumszeit beziehen sich die handlungsleitenden Kognitionen auf physikalische Konzepte. Damit kommt dem Inhaltsbereich Physik eine deutlich geringere Bedeutung zu als dem Inhaltsbereich Messung. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass (physikalisch-) theoriegeleitetes Handeln (*manipulating ideas*) im traditionellen Praktikum praktisch nicht vorkommt. In nur 5% der Praktikumszeit beziehen sich die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden auf physikalische Theorie. Dieser Anteil an der Praktikumszeit ist sogar noch geringer als der Anteil, in dem die Studierenden sich mit versuchsfremden Inhalten beschäftigen (etwa dem Mittagessen oder der nächsten Klausur). Das bedeutet, dass die Handlungsregulation bezüglich des physikalischen Inhaltsbereichs auf der deskriptiven kognitiven Ebene stattfindet. Hypothese (1a) konnte damit bestätigt werden.

Des Weiteren wurde untersucht, welche Tätigkeiten die Benutzung physikalischer Konzepte bei der Handlungsregulation fördern. Bei den Tätigkeiten Manipulieren und Messen, mit denen im Praktikum weitaus am meisten Zeit verbracht wird, ist dies nicht der Fall. Wenn die Lernumgebung nicht grundsätzlich umgestaltet wird, ist eine intensive und gezielte Betreuung der Studierenden die einzige Möglichkeit, das traditionelle Praktikum im Hinblick auf physikbezogenes Handeln zu verbessern.

Auswertungen oder rechnerische Überprüfungen von Messdaten werden während der traditionellen Praktikumsarbeit nicht durchgeführt. Die Versuchsauswertung findet getrennt von der Versuchsdurchführung statt. Die vielfach gemachte Annahme, dass im Rahmen der Versuchsauswertung eine intensivere Auseinandersetzung mit der physikalischen Theorie des Experiments stattfindet als während der Versuchsdurchführung, konnte nicht bestätigt werden. Auch hier ist nur ein minimaler Anteil (<5%) der Sprechhandlungen der Studierenden theoriebezogen. Offenbar dient auch die Versuchsauswertung nur dem Ziel, die in der Anleitung geforderten Endergebnisse zu errechnen und Fehlerrechnungen durchzuführen.

Computergestützte Messwerterfassung

Hypothese (1b) musste verworfen werden. Es konnte nicht gezeigt werden, dass der Einsatz des Computers zur automatischen Messwerterfassung und -bearbeitung die Auseinandersetzung der Studierenden mit der physikalischen Theorie des Experiments fördert. Auch in dieser Lernumgebung beziehen sich die Kognitionen der Studierenden in nur etwa 20% der Praktikumszeit auf den Inhaltsbereich Physik. Beim Einsatz computergestützter Messwerterfassung kommt es bei keiner Tätigkeit häufiger zu theoriegeleitetem Handeln als im traditionellen Praktikum. Das heißt, dass auch im computergestützten Praktikum die Handlungsregulation bezüglich des physikalischen Inhaltsbereiches auf der deskriptiven kognitiven Ebene stattfindet.

Es konnte beobachtet werden, dass die Visualisierung der Schwingungskurven in Echtzeit Anknüpfpunkte für physikbezogene Diskussionen beim Messen bietet. Es handelt sich dabei aber um einzelne Ereignisse, die im Kontext des hier untersuchten Praktikums nicht zur Geltung kommen, da die Studierenden sich vor allem auf die Durchführung von Messungen konzentrieren (s.o.). Um die Vorteile, die der Computer bietet, besser nutzen zu können, muss die Lernumgebung grundsätzlich verändert werden.

Nach den Untersuchungsergebnissen ist der Hauptvorteil computergestützter Messwerterfassung die Möglichkeit der Auswertung von Messdaten im direkten Anschluss an die Messung. Die Studierenden bekommen dadurch eine Rückmeldung über den Erfolg ihrer Handlungen, die sie im traditionellen Praktikum nicht bekommen können. Am Beispiel von Versuch I wurde gezeigt, dass dies zur selbstständigen Entdeckung von

Messfehlern und in diesem Zusammenhang zu physikbezogenen Diskussionen führen kann.

Etwa 5% der Praktikumszeit wird mit computerspezifischen Aktivitäten (Speichern, Formatieren etc.) verbracht, die nur indirekt mit dem Praktikumsexperiment zu tun haben. Davon abgesehen beschäftigen sich Studierende, die mit dem Computer arbeiten, wesentlich seltener mit versuchsfremden Inhalten als Studierende im traditionellen Praktikum. Dort führt vor allem das Aufnehmen von Messwerten zu Wartezeiten, während derer die Studierenden versuchsfremde Tätigkeiten ausführen. Im computergestützten Praktikum dagegen ist die Aufmerksamkeit der Studierenden durchgehend auf den Computer gerichtet. Das führt in dem untersuchten Experiment (Versuch II) dazu, dass, wie auch im traditionellen Praktikum, von allen diesen Studierenden der Amplitudensprung des Drehpendels bei der kritischen Frequenz übersehen wird.

Modellbildung und Simulation

Hypothese (1c) konnte bestätigt werden. Es wurde gezeigt, dass die Erarbeitung und Anwendung eines physikalischen Modells mit Hilfe eines Modellbildungssystems die Auseinandersetzung mit der physikalischen Theorie des Experiments im Praktikum fördert. Die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden der Gruppe MBS berühren signifikant häufiger den Inhaltsbereich Physik, verglichen mit den Studierenden der Gruppen TRAD und MBL. Außerdem findet die Handlungsregulation signifikant häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene (physikalisch-theoriegeleitet) statt.

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Tätigkeiten und Kognitionen erlaubt, dieses Ergebnis zu differenzieren. Es konnte gezeigt werden, dass der hohe Anteil physikbezogener Sprechhandlungen hauptsächlich auf die Tätigkeit der Modellbildung zurückzuführen ist. Dies ist außerdem die einzige Tätigkeit im Praktikum, die theoriegeleitetes Handeln deutlich verlangt. Für das Durchführen von Simulationen dagegen gilt dies nicht. Das liegt daran, dass es bei einmal fertiggestelltem Modell genügt, Simulationsparameter solange zu variieren, bis ein bestimmtes Ergebnis erhalten wird. Die Simulation des Experiments für Durchführung der Messung hilft aber, die Aufmerksamkeit der Studierenden auf den wichtigen Frequenzbereich zu richten. Alle Vpn, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, achten auf den Sprung der Amplitude des Pendels bei der kritischen Frequenz.

Abhängigkeit der Ergebnisse vom Versuchsthema

Im letzten Abschnitt des Kapitels wurden die mit der Analyse von Versuch II gewonnen Ergebnisse durch die Analyse der Praktikumsarbeit von sechs Vpn an Versuch I überprüft. Dabei konnten alle oben beschriebenen Befunde bestätigt werden. Das bedeutet, dass die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse vermutlich nur wenig vom Thema des Versuchs abhängig sind.

Weiteres Vorgehen

In diesem Kapitel wurden die Tätigkeiten und die Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit untersucht. Es wurde aber noch nicht betrachtet, ob die Praktikumsarbeit auch zu einem Wissenserwerb im Themenbereich des Praktikumsexperiments führt. Aufgrund der Ergebnisse der Videoanalyse kann vermutet werden,

- dass Studierende, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, mehr physikalisches Wissen erwerben als die Studierenden der Gruppen TRAD und MBL, und
- dass der Wissenszuwachs im physikalischen Inhaltsbereich geringer ausfällt als im Inhaltsbereich Messung.

Dies wird in den folgenden Kapiteln anhand der vor und nach der Praktikumsarbeit erhobenen Begriffsnetze untersucht. Im nächsten Kapitel wird zunächst die Methode zur Auswertung der Begriffsnetze beschrieben. Anschließend (Kapitel 11) werden die Ergebnisse der Begriffsnetzanalyse vorgestellt und mit den Ergebnissen der Videoanalyse in Zusammenhang gebracht.

Kapitel 10

ANALYSE DER BEGRIFFSNETZE

10-1 ERHOBENE BEGRIFFSNETZE

Anhand der Begriffsnetze wird untersucht, ob durch die Durchführung eines Praktikumsexperiments physikalisches und experimentelles Wissen erworben wird, und ob ein Computereinsatz im Praktikum den Umfang und die Art des erworbenen Wissens beeinflusst. Nach Kapitel 6 wurde von jeder Vpn vor und nach jedem der beiden Praktikumsversuche jeweils ein Begriffsnetz angefertigt. Damit stehen insgesamt 72 Begriffsnetze zur Auswertung zur Verfügung. Wie dieses Kapitel zeigen wird, ist das gewählte Auswertungsverfahren äußerst zeitaufwendig. Es muss deshalb eine Beschränkung auf einen der beiden Praktikumsversuche vorgenommen werden. Um die Ergebnisse von Begriffsnetz- und Videoanalyse zusammenführen zu können, wurden nur die Begriffsnetze zu Versuch II („Anharmonische Schwingungen“) analysiert, da hier auch die kompletten Videodaten vorliegen. Die Darstellungen im vorliegenden Kapitel beziehen sich daher nur auf diesen Versuch.

Als Ausgangsmaterial für das Erstellen der Concept Maps wurden den Vpn die in Tabelle 10.1 (nächste Seite) aufgeführten 20 Begriffe zum Versuchsaufbau und zum physikalischen Hintergrund des Experiments vorgegeben (vgl. Kap. 6-6). Für die Vpn der Gruppen MBL und MBS (computergestützte Lernumgebungen) wurde, dem veränderten Versuchsaufbau entsprechend, der Begriff *Winkelskala* durch *Potentiometer* ersetzt (vgl. Kap. 7-1). Damit bleiben die Begriffsnetze vergleichbar.

Die Besonderheit der in dieser Untersuchung eingesetzten Begriffsnetze liegt darin, dass in ihnen sowohl physikalisch-theoretische Zusammenhänge als auch eingesetzte Messverfahren und der Versuchsaufbau dargestellt werden. Das dargestellte Wissen zum Praktikumsversuch kann also verschiedenen Inhaltsbereichen angehören (Messung oder Physik). Es kann außerdem auf der Ebene „Versuchsaufbau“ oder auf der

Ebene „physikalische Theorie" dargestellt werden. Entsprechend werden bei der Darstellung bestimmter Zusammenhänge durch die Vpn unterschiedliche kognitive Leistungen erbracht.

ZUM VERSUCHSAUFBAU	ZUR PHYSIK
Spiralfeder	Amplitude
Schwungscheibe	Anharmonische Schwingung
Motor	Auslenkung
Masse	Dämpfungskonstante
Winkelskala (Potentiometer)	Drehmoment
Feldspule	Federkonstante
Lichtschranke	Frequenz
	Harmonische Schwingung
	Periodendauer
	Phase
	Stationäre Amplitude
	Trägheitsmoment
	Winkelgeschwindigkeit

Tabelle 10.1: Ausgangsbegriffe für das Erstellen der Concept Maps.

Die von den Vpn gelegten Concept Maps unterscheiden sich inhaltlich. Einige Vpn beschreiben vor allem den Versuchsaufbau, andere stellen hauptsächlich den physikalisch-theoretischen Hintergrund dar. Wieder andere konzentrieren sich auf das Vorgehen bei der Messung der physikalischen Größen. Auch die Genauigkeit, mit der die gelegten Verbindungen beschriftet werden, ist von Vpn zu Vpn verschieden. Manche Vpn schreiben ausführliche Erklärungen an die Verbindungen (z.B. *Phase* verbunden mit *Lichtschranke*; Beschriftung: *„wird gemessen, indem bei jedem Nulldurchgang ein Spannungspeak erzeugt wird"*). Andere beschriften die Verbindungen mit nur einem Begriff (z.B. *Phase* verbunden mit *Lichtschranke*; Beschriftung: *„messen"*). Es gibt also sowohl im Inhalt des dargestellten Wissens als auch in der Art der Wissensdarstellung große Unterschiede zwischen den Vpn. Um diese Unterschiede auszugleichen, müssen die Concept Maps der Studierenden im Zusammenhang mit den dazu geführten Interviews betrachtet werden. In diesen Interviews werden von den Vpn alle vorhandenen Verbindungen in eigenen Worten erklärt (siehe Kap. 6-6). Für die Auswertung werden die Interviews transkribiert. Ein Beispiel für gelegte Concept Maps einer Vpn mit den zugehörigen Interviewtranskripten (vor und nach der Versuchsdurchführung) findet sich in Anhang 4. Die Auswerteprozedur ist weiter unten beschrieben.

Die großen Unterschiede zwischen den Vpn in der Art der Wissensdarstellung und bezüglich des Inhalts des dargestellten Wissens sind eine Folge des offenen Verfahrens, das für die Erhebung der Begriffsnetze eingesetzt wurde (vgl. Kap. 6-6). In vielen Untersuchungen, in denen Concept Maps als Wissenstest eingesetzt werden, werden engere Verfahren benutzt. Dabei werden den Vpn bestimmte Arten von Verbindungen vorgegeben (z.B. BONATO 1990, MCCLURE & BELL 1990, BEHRENDT 1997). Solche Einschränkungen erleichtern die Auswertung der Netze, da bereits vor der Erhebung eine Standardisierung der Daten erfolgt. Das in dieser Arbeit eingesetzte Verfahren hat den Vorteil, dass das Wissen der Studierenden umfassender erfasst wird, da keine Einschränkungen bezüglich der Darstellung gemacht werden. Allerdings wird die Auswertung der Daten erschwert, da ein Verfahren entwickelt werden muss, bei dem alle von den Vpn geäußerten Verbindungen in gleicher Weise bei der Analyse berücksichtigt werden.

10-2 ANALYSEVERFAHREN

In der Literatur finden sich viele verschiedene Methoden zur Auswertung von Concept Maps. RUIZ-PRIMO und SHAVELSON (1996) identifizieren drei prinzipielle Vorgehensweisen:

(1) Die Bewertung der Struktur einzelner Maps mit Hilfe eines speziellen Bewertungssystems (*scoring scheme*). Die zum Einsatz kommenden Bewertungssysteme sind sehr vielfältig. In der Regel werden Anzahl und Richtigkeit der Verbindungen, Querverbindungen zwischen Netzbereichen, Hierarchieebenen und Beispiele bewertet. Die meisten Verfahren beruhen auf einem von NOVAK und GOWIN (1984) für biologische Themenbereiche entwickelten Schema. Es geht von einer hierarchisch vernetzten, durch Beispiele ergänzten Wissensstruktur aus.

(2) Der Vergleich von Lerner-Netzen mit einem von Experten erstellten Wissensnetz. Dieses Verfahren beruht auf der Annahme, dass es zu dem betreffenden Themengebiet eine Darstellung gibt, in der die Wissensstruktur ideal und im Sinne des Paradigmas der jeweiligen Disziplin korrekt organisiert ist. Die Lerner-Netze werden danach beurteilt, wie ähnlich sie der Referenzstruktur sind. Dieses Vorgehen ist jedoch problematisch. ACTON et al. (1994) zeigen, dass von Experten angefertigte Referenzstrukturen sich erheblich unterscheiden. Je nachdem welche Referenz als Kriterium herangezogen wird, führen Vergleiche mit Lerner-Maps zu unterschiedlich hohen Korrelationen mit Leistungstests.

(3) Eine Kombination beider Methoden. Hier ist auch das in der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Verfahren einzuordnen.

Die Vielfalt der in der Literatur diskutierten Methoden lässt sich darauf zurückführen, dass das Auswerteverfahren an den Untersuchungsgegenstand angepasst werden muss. Beispielsweise ist das von NOVAK und GOWIN (1984) eingeführte *scoring scheme* für physikalische Themenbereiche kaum geeignet. Mit ihm werden Hierarchien, also Oberbegriff-Unterbegriff-Zusammenhänge, bewertet, die in der Physik selten interessant sind. In anderen Untersuchungen werden weitere Strukturparameter, etwa Zentralitätsindizes, berechnet (z.B. BONATO 1990, BEHRENDT 1997). Solche Verfahren erweisen sich dann als sinnvoll, wenn es konkrete Hypothesen bezüglich der Entwicklung der Wichtigkeit einzelner Begriffe in einem bestimmten Themengebiet gibt. Derartige Hypothesen liegen in dieser Arbeit nicht vor.

Eingesetztes Verfahren

Auch im hier benutzten Verfahren werden die Begriffsnetzverbindungen bewertet. Die Bewertung erfolgt allerdings nicht numerisch, sondern anhand des Kategoriesystems, das bereits zur Videoanalyse benutzt wurde (siehe Kap. 8-3, S. 60). Die Auswertung der Begriffsnetze berücksichtigt somit nicht nur quantitative sondern auch qualitative Aspekte. Die einzelnen Verbindungen werden im Hinblick auf ihren Inhaltsbereich und auf die mit ihrer Darstellung verbundenen kognitiven Leistung beurteilt. Die Bewertung geschieht dabei vor dem gleichen theoretischen Hintergrund wie die Analyse der Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit. So kann der Wissenserwerb der Studierenden mit ihrer Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit in Verbindung gebracht werden.

Die Berücksichtigung qualitativer Aspekte bei der Auswertung der Begriffsnetze hat noch eine weitere Funktion: Verschiedene Netze enthalten, wie oben beschrieben, verschiedene Inhaltsbereiche (Versuchsaufbau, Messungen, Physik). Begriffsnetze verschiedener Vpn können daher eine ähnliche Anzahl von Verbindungen aufweisen, sich inhaltlich aber sehr unterscheiden. Mit Hilfe der Kategorisierung der Verbindungen wird es möglich, die Wissensstrukturen der Vpn in Bezug auf eine bestimmte Kategorie miteinander zu vergleichen.

Für den Vergleich der Begriffsnetze untereinander wird ein Referenznetz erstellt. Um die oben beschriebenen Probleme beim Einsatz von Expertennetzen zu vermeiden, ist die Referenzstruktur keine ideale oder vollständige Darstellung eines ganzen Themengebiets. Sie besteht aus der Summe aller von den Vpn geäußerten Verbindungen. Alle individuellen Concept Maps der Vpn finden sich in der Referenzstruktur wieder. Das Referenznetz ist also ein Hilfsmittel, um zu gewährleisten, dass bei der Auswertung alle Verbindungen der Einzel-Begriffsnetze der Vpn in gleicher Weise berücksichtigt werden.

Das eingesetzte Auswerteverfahren besteht demnach aus folgenden Schritten, die anschließend genauer erläutert werden:

(1) Aus allen von den Vpn genannten propositionalen Zusammenhängen zum Praktikumsexperiment wird eine Referenzstruktur erstellt.

(2) Die Verbindungen des Referenznetzes werden kategorisiert.

(3) Die Begriffsnetze der Vpn werden so bearbeitet, dass sie mit der Referenzstruktur verglichen werden können.

(4) Für jedes Vpn-Begriffsnetz wird die Anzahl der Verbindungen in den verschiedenen Kategorien (Referenznetzbereichen) ermittelt.

10-3 ERSTELLUNG DES REFERENZNETZES

Zur Erstellung der Referenzstruktur müssen die Interviews ausgewertet werden. Das bedeutet, dass jedes von einer Vpn gelegte Concept Map mit dem Inhalt des zugehörigen Interviews zu einem Gesamt-Begriffsnetz verbunden wird.

In einem ersten Schritt wurde im Rahmen einer Staatsexamensarbeit eine Grundversion des Referenznetzes aus dem Text der Versuchsanleitung erstellt, und mit Hilfe der (Gesamt-)Begriffsnetze zweier Vpn auf seine Anwendbarkeit hin überprüft (GERULL 1998). Schon hier zeigt sich, dass die aus dem Text der Versuchsanleitung entnommenen Verbindungen den größten Teil der von den Vpn dargestellten Verbindungen abdecken. Dies ist ein Beleg dafür, dass die Vorbereitung der Studierenden sehr eng an die Versuchsanleitung gekoppelt ist. Ein solches vorgabeorientiertes Verhalten der Studierenden ist plausibel, da das in der Anleitung dargestellte Wissen im Rahmen des zur Durchführung des Experiments gehörenden Kolloquiums abgefragt wird (vgl. Kap. 6-1).

Auswertung der Interviews

Der zweite Schritt zur Erstellung eines Referenznetzes, das den Inhalt aller Einzelnetze berücksichtigt, besteht in der Auswertung aller Begriffsnetze der Vpn einschließlich der zugehörigen Interviewtranskripte (s.o.).

WHITE und GUNSTONE (1992) beschreiben, wie sich aus Interviewtranskripten durch Aufstellung der darin enthaltenen einzelnen Propositionen Assoziationsnetze erstellen lassen. In Interviews expliziertes Wissen ist danach in Begriffsnetzform darstellbar. Diese Methode wird in der vorliegenden Arbeit benutzt, um, wie oben angedeutet, aus jedem gelegten Concept Map und dem zugehörigem Interviewtranskript ein Gesamt-Begriffsnetz zu erstellen. Das so entstandene Begriffsnetz enthält dann alle von der jeweiligen Vpn in der Erhebungssituation aktivierten und inhaltlich richtigen Wissenselemente zum Praktikumsversuch. Falsche Verbindungen werden nicht berücksichtigt.

Bei der Zusammenführung von gelegten Maps und Interviews muss gewährleistet sein, dass das Verfahren nachvollziehbar ist, und dass verschiedene Personen, die das Verfahren anwenden, zu gleichen Begriffsnetzdarstellungen gelangen. Um alle Interviewantworten gleich zu behandeln, werden daher die auftretenden Verbindungen standardisiert. Jeder von einer Vpn im Interview erläuterte und in das individuelle Begriffsnetz bzw. das Referenznetz übernommene Zusammenhang lässt sich einer der in Tabelle 10.2 dargestellten Verbindungsklassen zuordnen. Des Weiteren wurden ähnliche Begriffe oder Ausdrücke vereinheitlicht. Beispielsweise wurde der Ausdruck *zusätzliches Drehmoment* (damit ist das Drehmoment der am Schwungrad angebrachten Masse gemeint) genauso behandelt wie *Massendrehmoment*, *Feldstrom* (der dämpfenden Feldspule) wie *Stromstärke*, *dämpfende Kraft* wie *Dämpfung*, etc. Dies ist notwendig, um Vergleiche zu ermöglichen und um die Anzahl der Begriffe und Verbindungen im Referenznetz nicht ausufern zu lassen.

VERBINDUNGSKLASSE	VERBINDUNG	BEGRIFFSTYP 1	→	BEGRIFFSTYP 2
MERKMAL	der/des	physik. Größe	→	Objekt
ABHÄNGIGKEIT	ist abhängig von	math. Formel/ physik. Größe*	→	physik. Größe*
IST AN, GANZES/TEIL	ist an	Objekt	→	Objekt
	ist Teil von	Objekt	→	Objekt
URSACHE/WIRKUNG	wirkt auf	physik. Größe*/ Objekt	→	Objekt
	bewirkt	Objekt	→	physik. Größe*
GILT FÜR	gilt für	math. Formel/Wert	→	physik. Größe
PROZEDUR	errechnen durch	physik. Größe	→	math. Formel/ Rechenverfahren
	messen von	math. Formel	→	physik. Größe
	ablesen an	physik. Größe	→	Objekt
BEDINGUNG	bei	[nicht festgelegt]	→	[nicht festgelegt]
SPEZIELLE EINZELVERBINDUNGEN	führt aus	Schwingendes System	→	Harmonische Schwingung
	ist Teil von	Pohlsches Rad/Masse	→	Schwingendes System
	einstellen	Feldstrom	→	180 mA
	ist maximale	Amplitude	→	Auslenkung
	nicht proportional	Lagerreibungsdrehmoment	→	Winkelgeschwindigkeit
		Auslenkung	→	rücktreibende Kraft

Tabelle 10.2: Standardisierte Verbindungen für die Umwandlung der Interviews in Begriffsnetzform und für die Erstellung des Referenznetzes (* Größe oder Konzept).

Entstehung des Referenznetzes

Während der Auswertung der Interviews werden alle in den Begriffsnetzen der Vpn auftretenden Verbindungen, die noch nicht in der Grundversion des Referenznetzes (s.o.) enthalten sind, zu dieser hinzugefügt. Das Referenznetz wird also Verbindung um Verbindung erweitert. So entsteht eine Referenzstruktur mit folgenden Eigenschaften:

- Sie enthält alle in den Begriffsnetzen der Vpn auftretenden Begriffe und Verbindungen.
- Sie deckt alle Inhaltsbereiche ab (Physik, Messung, Versuchsaufbau).
- Sie enthält nur physikalisch korrekte Verbindungen.
- Die Verbindungen sind standardisiert (s.o.).

Es wurden zwei Referenznetze erstellt, eines für die Vpn-Gruppe TRAD (traditionelle Praktikumsarbeit), und eines für die Vpn-Gruppen MBL und MBS (computerunterstützte Praktikumsarbeit). Sie unterscheiden sich nur in einigen wenigen Verbindungen, die den leicht veränderten Versuchsaufbau betreffen (Potentiometer statt Winkelskala; s.o.). Das Referenznetz für Vpn der Gruppe TRAD hat 195 Verbindungen. Das Referenznetz für Vpn der Gruppen MBL und MBS hat 197 Verbindungen. Das „traditionelle" Referenznetz findet sich im DIN-A2-Format in Anhang 5, ganz am Ende der Arbeit.

Systematisierung der Referenznetzverbindungen

Um zu gewährleisten, dass beim Vergleich mit dem Referenznetz alle von den Vpn in den Begriffsnetzen dargestellten Zusammenhänge gleich behandelt werden, müssen die Verbindungen des Referenznetzes systematisiert und vereinheitlicht werden. Das bedeutet, dass Netzbereiche, in denen ähnliche physikalische, messbezogene oder mathematische Inhalte dargestellt sind, auch gleiche Strukturen besitzen. Ein (physikbezogenes) Beispiel ist in Abbildung 10.1 dargestellt.

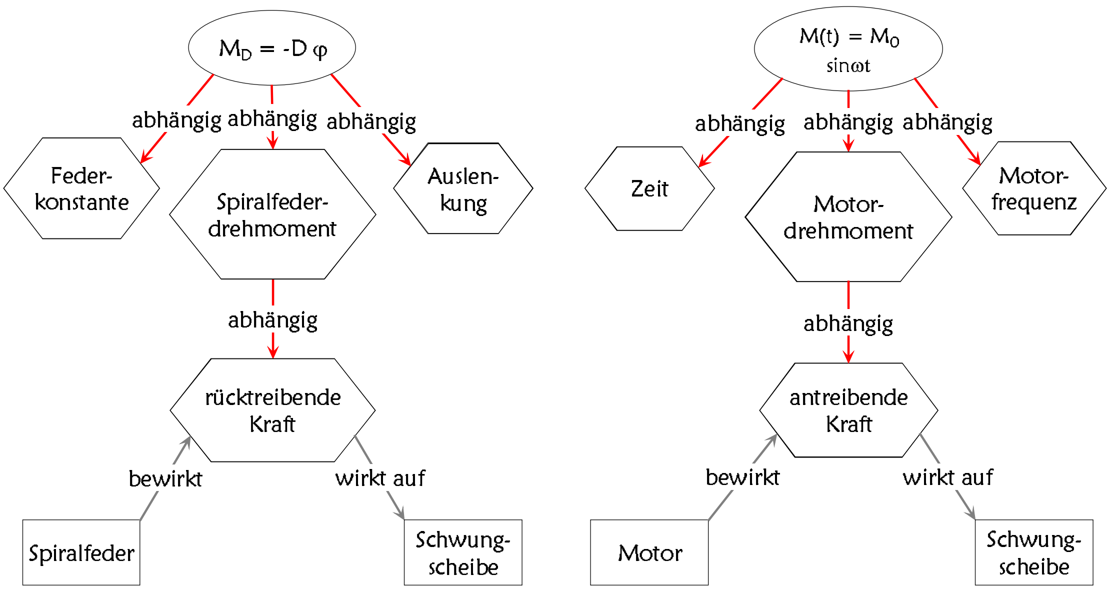


Abbildung 10.1: Beispiel für die strukturelle Gleichbehandlung von Teilen des Referenznetzes, in denen ähnliche physikalische Inhalte dargestellt sind. Links die Darstellung des Spiralfederdrehmoments, rechts die Darstellung des durch den Motor verursachten äußeren Drehmoments.

Des Weiteren wurde, um die ohnehin sehr große Zahl der Verbindungen einzuschränken, für die Darstellung der Referenzstruktur ein Verfahren gewählt, bei dem nicht alle möglichen Verbindungen explizit eingetragen werden. Trotzdem sind alle von den Vpn genannten Zusammenhänge enthalten. Bei diesem Verfahren werden direkte Verbindungen zwischen zwei Begriffen durch zwei oder mehrere andere Verbindungen und Begriffe zum gleichen Gegenstand ersetzt. Ein einfaches Beispiel ist in Abbildung 10.2 (nächste Seite) dargestellt. Der Nachteil des Verfahrens ist, dass nicht mehr gezählt werden kann, welche Verbindung wie häufig von verschiedenen Vpn genannt wird. Da in dieser Untersuchung jedoch primär die Unterschiede zwischen Vor- und Nachmap interessieren (diese können gezählt werden), wird dieser Nachteil in Kauf genommen. Weitere Erläuterungen zur Struktur des Referenznetzes finden sich in Anhang 5.

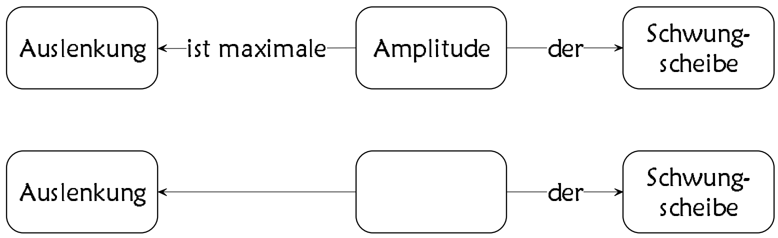


Abbildung 10.2: Beispiel für das Strukturprinzip des Referenznetzes. Theoretisch sind drei Verbindungen zwischen den drei Begriffen möglich. Die Verbindung ***Auslenkung der Schwungscheibe*** wird jedoch nicht explizit eingezeichnet (obere Abb.). Sie ist in den beiden eingezeichneten Verbindungen enthalten. Wird nur die Verbindung ***Auslenkung der Schwungscheibe*** von einer Vpn genannt, so wird der Begriff ***Amplitude*** übersprungen (untere Abb.). Mit dieser Methode wird das Referenznetz auf eine überschaubare Verbindungszahl reduziert.

10-4 KATEGORISIERUNG DER REFERENZNETZVERBINDUNGEN

Wie oben angedeutet lassen sich die Begriffsnetzverbindungen nach Kategorien einteilen, die denen der Videoanalyse entsprechen. Die Verbindungen werden also bezüglich ihres Inhaltsbereichs und bezüglich der mit ihrer Darstellung verbundenen kognitiven Leistung kategorisiert. Damit kann ein Zusammenhang bezüglich der kognitiven Leistungen im jeweiligen Inhaltsbereich während der Praktikumsarbeit und der Begriffsnetzdarstellung hergestellt werden.

Bei der Kategorisierung wird für jede einzelne Referenznetzverbindung folgendermaßen vorgegangen:

1. Die Verbindung wird „verbalisiert“ (das heißt, die betreffende Proposition wird als Satz ausgedrückt).
2. Der Satz wird als eine während der Praktikumsarbeit auftretende Sprechhandlung aufgefasst.
3. Die Sprechhandlung wird entsprechend den Vorschriften zur Videoanalyse (siehe Kap. 8-3) kodiert.

An dieser Stelle wird die Funktion des Referenznetzes besonders deutlich. Bei der Auswertung der zu den Begriffsnetzen geführten Interviews (s.o.) wurden die Verbalisierungen der Studierenden in Propositionen zerlegt und in eine einheitliche Struktur gebracht. Nun werden die Propositionen wieder „verbalisiert“ und nach Kategorien eingeteilt. Ihre Struktur bleibt dabei aber erhalten. Das Referenznetz wirkt also wie ein Filter, der die in Sprache und Inhalt vielfältigen Äußerungen der Studierenden zum Themenbereich des Praktikumsexperiments in eine überschaubare, und im Hinblick auf die Ziele der Untersuchung auswertbare Darstellung überführt.

Tabelle 10.3 verdeutlicht anhand von Beispielen für Begriffsnetzverbindungen, wie den Propositionen bestimmte Kategoriekombinationen zugeordnet werden. Die Kategorisierung der Referenznetzverbindungen ist an die verschiedenen Verbindungstypen (s.o., Tab. 10.2) geknüpft. Dabei wird jede Kategoriekombination im Referenznetz durch eine andere Farbe repräsentiert (siehe Anhang 5). Die Zuordnung der Verbindungstypen zu den Kategoriekombinationen ist in Tabelle 10.4 dargestellt.

Begriffsnetzverbindung (Beispiel)	Kat.	Inhaltsbereich	Kog. Leistung*
Die Dämpfungskonstante ist abhängig von der Winkelgeschwindigkeit	PP	theoriebezogen	abstrakt
Zur Bestimmung des Trägheitsmoments wird die Federkonstante gemessen	MPP	mess- und theoriebezogen	abstrakt
Die Spiralfeder hat eine Federkonstante	P	physikbezogen	deskriptiv
Die Dämpfungskonstante wird über eine lineare Regression bestimmt	MP	mess- und physikbezogen	deskriptiv
Die Steigung wird über eine lineare Regression bestimmt	M	messbezogen	
Die Lichtschranke ist am Motor angebracht	O	objektbezogen	

Tabelle 10.3: Zuordnung der Kategorien aus Kapitel 8-3 (S. 60) zu Beispielen für Begriffsnetzverbindungen (* die Unterscheidung zwischen deskriptiver und abstrakter kognitiver Leistung wird wie bei der Videoanalyse nur bezüglich des Inhaltsbereichs Physik (d.h. auf physikalische Konzepte bezogen) vorgenommen (vgl. Kap. 8-3).

Verbindung	Begriffstyp 1	→	Begriffstyp 2	Kat.	$N_{Referenz}$
ist abhängig von	math. Formel/ physik. Größe*	→	physik. Größe*	PP	76 (rot)
messen von	math. Formel	→	physik. Größe	MPP	24 (blau)
gilt für	math. Formel/Wert	→	physik. Größe	MP	29 (türkis)
errechnen durch	physik. Größe	→	math. Formel/ Rechenverfahren		
errechnen durch	math. Formel/ Rechenverfahren	→	math. Formel/ Rechenverfahren	M	21 (grün)
wirkt auf	physik. Größe	→	Objekt	P	28 (gelb)
der/des	physik. Größe	→	Objekt		
bewirkt	Objekt	→	physik. Größe*		
ablesen an	physik. Größe	→	Objekt		
ist an	Objekt	→	Objekt	O	17 (schwarz)
ist Teil von	Objekt	→	Objekt		
wirkt auf	Objekt	→	Objekt		

Tabelle 10.4: Einteilung der Begriffsnetzverbindungen in Kategorien, die denen der Videoanalyse entsprechen(vgl. Abb. 10.2) (*Größe oder Konzept). In der letzten Spalte ($N_{Referenz}$) ist die Anzahl der jeweiligen Verbindungen sowie ihre Farbe im Referenznetz (siehe Anhang 5) angegeben.

Bearbeitung der Begriffsnetze der Vpn

Alle nach der Auswertung der Interviews vorliegenden 36 Einzel-Begriffsnetze der Vpn (18 vor und 18 nach Durchführung des Praktikumsexperiments) werden nun an die Referenzstruktur angepasst. Das bedeutet, sie werden so bearbeitet, dass jedes Einzel-Begriffsnetz hinterher die gleichen Strukturmerkmale wie das Referenznetz aufweist. So wird gewährleistet, dass bei der anschließenden Ermittlung der Verbindungszahlen alle Vpn-Begriffsnetze gleich behandelt werden. Ein Beispiel für bearbeitete Begriffsnetze einer Vpn (vor und nach der Versuchsdurchführung) findet sich in Anhang 5.

10-5 DURCHFÜHRUNG DER BEGRIFFSNETZANALYSE

Mit dem Referenznetz steht das benötigte Auswerteinstrument zur Verfügung. Es ermöglicht die Analyse der Begriffsnetze unter folgenden zwei Gesichtspunkten:

(1) Das in den Begriffsnetzen dargestellte Wissen kann mit der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit in Zusammenhang gebracht werden. Hierfür wird, analog zum Vorgehen bei der Videoanalyse, das Wissen der Studierenden in drei Inhaltsbereichen betrachtet (vgl. Kap. 8-3, S. 58-60):

- Keiner der Inhaltsbereiche Messung oder Physik
- Inhaltsbereich Messung
- Inhaltsbereich Physik

Im Inhaltsbereich Physik ist außerdem die Unterscheidung von zwei Ebenen der kognitiven Leistung möglich:

- Deskriptive kognitive Ebene
- Abstrakte kognitive Ebene (physikalische Theorie)

Die drei Inhaltsbereiche und zwei kognitiven Ebenen werden im Folgenden als (insgesamt fünf) *Referenznetzbereiche* bezeichnet.

(2) Die Begriffsnetze der einzelnen Vpn können in den verschiedenen Bereichen miteinander verglichen werden. Hierfür wird für jedes Einzel-Begriffsnetz vor dem Versuch (*Vormap*) und nach dem Versuch (*Nachmap*) in allen Referenznetzbereichen die Verbindungszahl (Zahl der Propositionen) ermittelt. Sie ist ein Maß für den Umfang des Wissens einer Vpn in diesem Bereich. Die Gesamtzahl der Verbindungen eines Begriffsnetzes wird als *Gesamtwissen* bezeichnet.

Die Zahl der Verbindungen, die im Nachmap einer Vpn enthalten sind, aber im Vormap noch nicht enthalten sind, ist ein Maß für den Umfang des durch die Durchführung des Praktikumsexperiments erworbenen Wissens. Die Differenz der Verbindungszahlen von Vor- und Nachmap (in einem Bereich) wird daher als *Wissenszuwachs* (in diesem Bereich) bezeichnet. Der Wissenszuwachs kann also sowohl insgesamt als auch in Bezug auf die verschiedenen Inhaltsbereiche bzw. die erbrachten kognitiven Leistungen bewertet werden.

Anhand der durch das Referenznetz vorgegebenen Struktur ist es außerdem leicht möglich, die Begriffsnetze der Vpn im Hinblick auf bestimmte Propositionen bzw. bestimmte inhaltliche Aspekte des Praktikumsexperiments zu vergleichen. So kann untersucht werden, ob es Wissenselemente gibt, die besonders häufig mit der Durchführung des Praktikumsexperiments erworben werden.

Kapitel 11

ERGEBNISSE DER BEGRIFFSNETZANALYSE

11-1 EINFÜHRUNG

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Begriffsnetzanalyse vorgestellt. Es wird also untersucht, ob durch die Durchführung eines Praktikumsexperiments ein Wissenszuwachs erreicht wird, und ob dieser von der Art der Lernumgebung abhängig ist. Außerdem wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen den während der Praktikumsarbeit beobachteten Handlungen und dem Lernerfolg, gemessen mit den Begriffsnetzen, besteht. Alle Darstellungen beziehen sich, wie zu Beginn von Kapitel 10 begründet, auf Versuch II („Anharmonische Schwingungen").

Nach Kapitel 6-5 wird folgende Hypothese bezüglich des Lernens im physikalischen Anfängerpraktikum mit und ohne Computer überprüft:

(2) Mit der Durchführung eines Praktikumsexperiments erwerben die Studierenden physikalisches und experimentelles Wissen. Der Umfang des erworbenen Wissens (der Wissenszuwachs) hängt von der Art der Lernumgebung ab:

   (a) Studierende im computergestützten Praktikum (Gruppen MBL und MBS) haben einen höheren Wissenszuwachs als Studierende im traditionellen Praktikum (Gruppe TRAD).

   (b) Der Einsatz eines Modellbildungssystems im Praktikum (Gruppe MBS) führt zu einem höheren Wissenszuwachs der Studierenden als der Einsatz des Computers nur zur Messwerterfassung (Gruppe MBL).

Aufbau des Kapitels

Zunächst wird Hypothese (2) varianzanalytisch überprüft (Abschnitt 11-2). Es wird also untersucht, ob bezüglich des Wissenszuwachses Unterschiede zwischen den Gruppen

TRAD, MBL und MBS bestehen. Dabei werden sowohl der gesamte Wissenszuwachs auch der Wissenszuwachs in den einzelnen Bereichen des Referenznetzes (siehe Kap. 10) betrachtet. Anschließend werden die Ergebnisse der Begriffsnetze mit den Ergebnissen der Videoanalyse in Verbindung gebracht. Hierfür werden, unter anderem, die Datensätze miteinander korreliert.

Über die Überprüfung von Hypothese (2) hinaus lassen sich mit qualitativen Betrachtungen Ergebnisse erhalten, die zu einem besseren Verständnis des Wissenserwerbs im Praktikum beitragen. Diese Ergebnisse sind in Abschnitt 11-4 des Kapitels dargestellt. Es werden Unterschiede im Wissenszuwachs zwischen einzelnen Vpn untersucht, und welche Propositionen des Referenznetzes besonders häufig im Wissenszuwachs der Studierenden enthalten sind. Damit lässt sich das experimentelle und physikalische Wissen beschreiben, das typischerweise mit der Durchführung des Praktikumsexperiments erworben wird.

11-2 VARIANZANALYTISCHE AUSWERTUNG

Da man davon ausgehen muss, dass das Vorwissen einen Einfluss auf das Lernen und damit den Wissenszuwachs hat (Kap. 4), wird es in der Analyse berücksichtigt. Das Vorwissen zum Themenbereich des Praktikumsversuchs wurde in der vorliegenden Untersuchung jeweils mit dem ersten Begriffsnetz einer Vpn erhoben.

Zur Überprüfung von Hypothese (2) werden die Begriffsnetze durch eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (MANOVA) ausgewertet (z.B. BORTZ 1985). Nach O'BRIEN und KAISER (1985) ist dieses Verfahren für Designs wie das der vorliegenden Untersuchung gut geeignet. Getestet wird die Veränderung der Zahl der Begriffsnetzverbindungen nach der Durchführung des Praktikumsexperiments im Vergleich zu vorher (Faktor Zeit), sowie der Einfluss der Art der Lernumgebung (Faktor Gruppe) und die Interaktion zwischen beiden Faktoren (Interaktion Gruppe x Zeit). Bei Zutreffen von Hypothese (2) sind folgende Ergebnisse zu erwarten:

- Trifft die Hypothese zu, dass ein Wissenserwerb stattfindet, ist ein Haupteffekt Zeit zu erwarten. Das würde bedeuten, dass das Wissen zum Themenbereich des Praktikumsexperiments nach Durchführung des Experiments in allen drei Gruppen signifikant höher ist als vor Durchführung des Experiments.
- Treffen die Hypothesen (2a) bzw. (2b) zu, ist eine signifikante Interaktion Gruppe x Zeit zu erwarten. Das würde bedeuten, dass die Veränderung von vorher (Vormap) zu nachher (Nachmap) für mindestens eine der Gruppen TRAD (traditionelles Praktikum), MBL (computergestützte Messwerterfassung) und MBS (Messwerterfassung und Modellbildungssystem) signifikant verschieden von einer anderen Gruppe ausfällt.

Die Varianzanalyse wird zunächst für das Gesamtwissen (die Gesamtzahl der Begriffsnetzverbindungen einer Vpn), und anschließend für die verschiedenen Bereiche des Referenznetzes durchgeführt. Als Prüfgrößen werden die üblichen F-Werte verwendet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Verbindungszahlen vor und nach

Durchführung des Praktikumsexperiments werden tabellarisch und graphisch dargestellt. In den Graphen wird jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Standardabweichungen verzichtet. Zusätzlich zu den Graphen sind jeweils Varianzanalysetabellen aufgeführt, welche die F-Werte (F), die zugehörigen Freiheitsgrade (df) und die errechneten Irrtumswahrscheinlichkeiten (p) der Effekte enthalten. Beim Auftreten signifikanter Unterschiede zwischen den drei Gruppen werden, wie in Kapitel 9, Post-Hoc-Tests nach Scheffé gerechnet, um zu lokalisieren, welche Einzelgruppen sich signifikant unterscheiden. Die Ergebnisse dieser Tests sind jeweils im Text beschrieben.

Analyse des Gesamtwissens

Tabelle 11.1-2 zeigt die Ergebnisse der Varianzanalyse des Gesamtwissens der Vpn. Danach führt, unabhängig von der Gruppe, die Durchführung des Praktikumsexperiments zu einem signifikanten Wissenszuwachs der Studierenden (Haupteffekt Zeit).

	Vormap		Nachmap	
	M	SD	M	SD
TRAD	51,1	12,2	68,9	15,4
MBL	73,2	16,2	96,0	18,5
MBS	66,2	9,5	84,8	17,8

Tabelle 11.1-1: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Gesamt-Verbindungszahlen der Vor- und Nachmaps für die Gruppen TRAD, MBL und MBS.

Effekt	df	F	p
Messwiederholung (Zeit)	(1;15)	74.32	**.000**
Gruppe	(2;15)	4.45	**.030**
Gruppe x Zeit	(2;15)	.44	.652

Tabelle 11.1-2: Ergebnisse der Varianzanalyse der Gesamt-Verbindungszahlen der Begriffsnetze.

Tabelle 11.1-2 zeigt ferner einen signifikanten Haupteffekt Gruppe. Das bedeutet, dass ein überzufälliger Unterschied zwischen den Verbindungszahlen der Vpn aus verschiedenen Vergleichsgruppen besteht. Die Post-Hoc-Tests zeigen, dass sich die Gruppen TRAD und MBL signifikant in den Verbindungszahlen des Vormaps und des Nachmaps unterscheiden (jeweils $p<0.05$). Der Unterschied besteht demnach schon vor Durchführung des Praktikumsversuchs. Auch in der Gruppe MBS liegen die Verbindungszahlen deutlich höher als in der Gruppe TRAD (Abb. 11.1). Die Unterschiede TRAD-MBS und MBL-MBS sind allerdings nicht signifikant.

Die Vergleichsgruppen sind also nicht homogen bezüglich des Vorwissens. Der Grund für diese ungleiche Verteilung liegt in den Problemen bei der Auswahl der Probanden (siehe Kap. 7-2, S. 49). Ein Teil der Vpn nahm nur unter der Bedingung an der Untersuchung teil, mit dem Computer arbeiten zu können. Diese Vpn mussten den „computergestützten“ Gruppen zugewiesen werden. Offenbar befinden sich dadurch in diesen Gruppen, und insbesondere in der Gruppe MBL, mehr Vpn mit hohem Vorwissen als in der „traditionellen“ Gruppe.

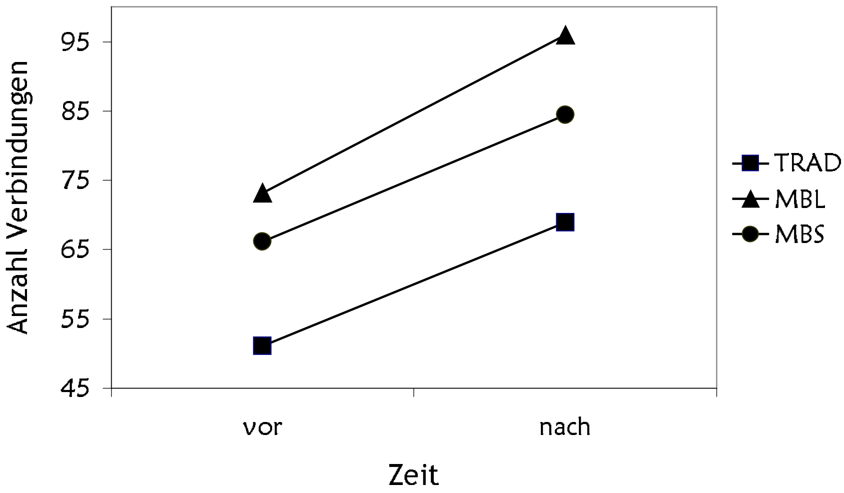


Abbildung 11.1: Mittlere Gesamt-Verbindungszahlen der Begriffsnetze vor und nach Durchführung des Praktikumsexperiments für die Gruppen TRAD, MBL und MBS.

Das Ergebnis der Varianzanalyse zeigt keine signifikante Interaktion zwischen den Faktoren Gruppe und Zeit. Demnach müssen, zumindest bezüglich des Gesamtwissens, die Hypothesen (2a) und (2b) verworfen werden. Die Verschiedenheit der drei Lernumgebungen führt nicht zu nachweisbaren Unterschieden im Wissenszuwachs zwischen den drei Gruppen. Wegen der Vorwissensunterschiede ist das Ergebnis allerdings nicht eindeutig. Geht man davon aus, dass das Vorwissen das Lernen beeinflusst, ist es auch möglich, dass die erwartete Interaktion Gruppe x Zeit durch Vorwissenseffekte überdeckt wird. Auf diese Problematik wird weiter unten genauer eingegangen (siehe S. 121).

Analyse des Wissens in den Referenznetzbereichen

Bisher wurden nur die Gesamt-Verbindungszahlen der Begriffsnetze betrachtet. Nun wird untersucht, inwieweit die gefundenen Ergebnisse auch für die einzelnen Bereiche des Referenznetzes zutreffen. Wie in Kapitel 10 beschrieben, werden, entsprechend dem Vorgehen bei der Videoanalyse, die folgenden Referenznetzbereiche betrachtet:

- Keiner der Inhaltsbereiche Messung oder Physik (Abkürzung: *‘Kein‘*)
- Inhaltsbereich Messung (*’Messung‘*)
- Inhaltsbereich Physik (*‘Physik‘*)
- Deskriptive kognitive Ebene im Inhaltsbereich Physik (*‘deskriptiv‘*)
- Abstrakte kognitive Ebene im Inhaltsbereich Physik (physikalische Theorie) (*‘abstrakt‘*)

Für jeden dieser Referenznetzbereiche wird eine MANOVA (s.o.) gerechnet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 11.2-1 bzw. in Abb. 11.2 (übernächste Seite) dargestellt. Die Ergebnisse der Varianzanalysen sind in Tabelle 11.2-2 (nächste Seite) zusammengefasst.

Nach Tabelle 11.2-2 ist nur der Haupteffekt Zeit in allen Referenznetzbereichen statistisch signifikant. Die Durchführung des Praktikumsexperiments führt also, unabhängig von der Gruppe, sowohl in den verschiedenen Inhaltsbereichen als auch bezüglich der beiden kognitiven Ebenen zu einem signifikanten Wissenszuwachs der Studierenden.

In keinem der Referenznetzbereiche tritt eine signifikante Interaktion Gruppe x Zeit auf. Demnach führt der Computereinsatz im Praktikum weder in einem der betrachteten Inhaltsbereiche noch bezüglich einer der beiden kognitiven Ebenen zu einem höheren Wissenszuwachs, verglichen mit dem traditionellen Praktikum. Die Hypothesen (2a) und (2b) müssen damit endgültig verworfen werden.

		Vormap		Nachmap	
Bereich		M	SD	M	SD
Kein	TRAD	3,0	1,8	4,8	2,2
	MBL	5,0	1,7	7,2	2,5
	MBS	4,5	3,2	6,7	2,2
Messung	TRAD	13,0	3,0	22,4	7,4
	MBL	20,0	6,3	34,0	10,1
	MBS	15,5	6,3	23,0	9,9
Physik	TRAD	46,0	11,8	61,0	14,0
	MBL	65,3	16,6	81,3	18,5
	MBS	58,8	6,2	73,4	14,2
deskriptive kognitive Ebene	TRAD	25,0	3,4	29,6	4,2
	MBL	27,6	6,6	34,8	7,4
	MBS	27,1	3,7	31,5	4,8
abstrakte kognitive Ebene	TRAD	21,0	8,6	31,4	10,2
	MBL	37,8	10,8	46,5	11,9
	MBS	31,8	4,6	41,9	10,9

Tabelle 11.2-1: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Verbindungszahlen der Vor- und Nachmaps für die Gruppen TRAD, MBL und MBS in den verschiedenen Referenznetzbereichen.

BEREICH	EFFEKT	DF	F	P
Kein	Messwiederholung (Zeit)	(1;15)	30.22	**.000**
	Gruppe	(2;15)	2.36	.128
	Gruppe x Zeit	(2;15)	2.01	.668
Messung	Messwiederholung (Zeit)	(1;15)	35.68	**.000**
	Gruppe	(2;15)	3.42	.060
	Gruppe x Zeit	(2;15)	1.25	.315
Physik	Messwiederholung (Zeit)	(1;15)	63.43	**.000**
	Gruppe	(2;15)	3.31	.065
	Gruppe x Zeit	(2;15)	1.59	.953
deskriptive kognitive Ebene	Messwiederholung (Zeit)	(1;15)	63.74	**.000**
	Gruppe	(2;15)	.91	.425
	Gruppe x Zeit	(2;15)	1.83	.194
abstrakte kognitive Ebene	Messwiederholung (Zeit)	(1;15)	53.45	**.000**
	Gruppe	(2;15)	4.46	**.030**
	Gruppe x Zeit	(2;15)	2.42	.862

Tabelle 11.2-2: Ergebnisse der Varianzanalysen der Verbindungszahlen in den verschiedenen Referenznetzbereichen.

Ein signifikanter Haupteffekt Gruppe tritt nur bezüglich der abstrakten kognitiven Ebene (physikalische Theorie) auf (Tab. 11.2-2). Die Post-Hoc-Tests ergeben, entsprechend den Ergebnissen zum Gesamtwissen, dass sich in diesem Referenznetzbereich die Verbindungszahlen der Vormaps der Gruppen TRAD und MBL signifikant unterscheiden. Abbildung 11.2 zeigt ferner, dass, obwohl die Unterschiede nicht signifikant sind, in allen Referenznetzbereichen die Verbindungszahlen der Vormaps in der Gruppe MBL höher liegen als in der Gruppe TRAD. Die bei der Analyse des Gesamtwissens gefundenen Vorwissensunterschiede zwischen diesen beiden Gruppen lassen sich also nicht allein auf Unterschiede in einem bestimmten Referenznetzbereich zurückführen.

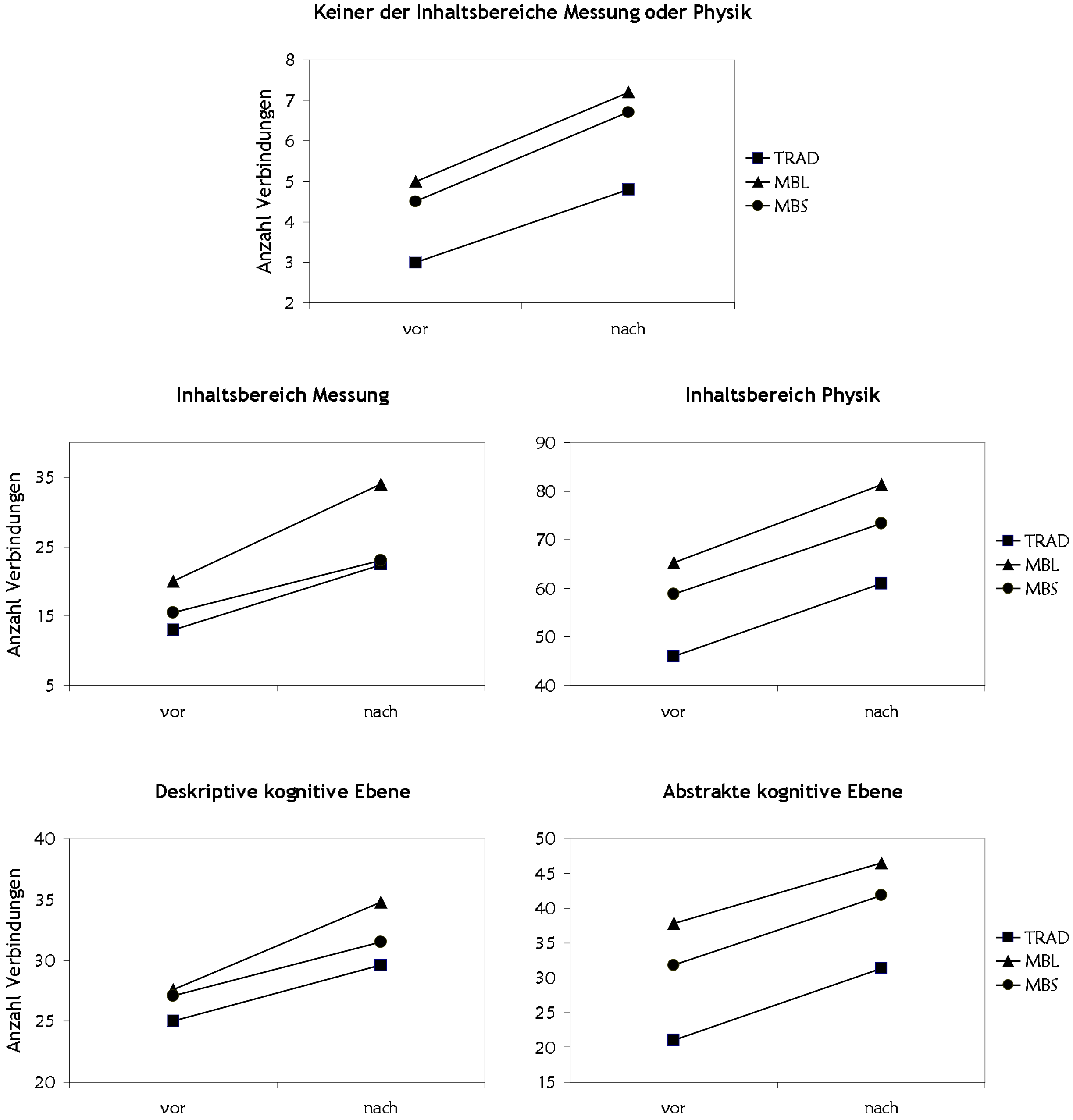


Abbildung 11.2: Verbindungszahlen in den Referenznetzbereichen vor und nach Durchführung des Praktikumsexperiments für die Gruppen TRAD, MBL und MBS.

Zur Rolle des Vorwissens

Für eine nähere Untersuchung des Einflusses des Vorwissens müssten in jeder Gruppe die Vpn nach Zahl der Propositionen im Vormap in mindestens zwei Gruppen eingeteilt werden. Da sich jedoch in jeder Gruppe nur 6 Vpn befinden, ist ein solches Vorgehen nicht sinnvoll. Es muss daher aufgrund der vorliegenden Analyseergebnisse auf die Rolle des Vorwissens geschlossen werden.

In Abbildung 11.2 fällt auf, dass, obwohl keine statistisch signifikanten Interaktionen Gruppe x Zeit auftreten, in einigen Referenznetzbereichen der Wissenszuwachs in der Gruppe MBL höher ausfällt als in den Gruppen TRAD und MBS. Dies ist im Inhaltsbereich Messung, sowie bezüglich der deskriptiven kognitiven Ebene der Fall. In der Gruppe MBL befinden sich auch die Vpn mit dem durchschnittlich höchsten Vorwissen (s.o.). Daher liegt die Vermutung nahe, dass dieser Effekt auf den Einfluss des Vorwissens zurückzuführen ist. Die Vermutung wird dadurch gestützt, dass, wie die Gesamtheit der Ergebnisse zeigt, ein Einfluss der Lernumgebung auf den Wissenszuwachs nicht vorzuliegen scheint: Nach den Betrachtungen im theoretischen Teil der Arbeit (Kap. 3) und nach den Ergebnissen der Videoanalyse ist zu vermuten, dass, zumindest im Inhaltsbereich Physik, der Einsatz des Modellbildungssystems zu einem höheren Wissenszuwachs führt (vgl. Hypothese 2b). Es ist deshalb äußerst unwahrscheinlich, dass die Lernumgebung in der Gruppe MBL (kein Modellbildungssystem) einen positiven Einfluss auf den Wissenserwerb hat, nicht aber in der Gruppe MBS (Modellbildungssystem).

Es kann darum vermutet werden, dass ein hohes Vorwissen der Studierenden zum Themenbereich des Praktikumsexperiments einen positiven Einfluss auf den mit der Durchführung des Praktikumsexperiments verbundenen Wissenserwerb hat.

11-3 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN PRAKTIKUMSARBEIT UND WISSENSERWERB

Da Wissen auch das Handeln beeinflusst (siehe Kap. 4), stellt sich die Frage, ob die Vorwissensunterschiede sich auch auf die Ergebnisse der Videoanalyse (Kap. 9) auswirken. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass dies nicht der Fall ist, da sich fast alle in Kapitel 9 dargestellten Ergebnisse in eindeutiger Weise auf den Einfluss der Lernumgebung zurückführen lassen.

Nur in einem Punkt ist dies nicht möglich: In der Gruppe MBL (hohes Vorwissen) treten signifikant häufiger messbezogene Sprechhandlungen während der Praktikumsarbeit auf als in den Gruppen TRAD und MBS (siehe Kap. 9-3, S. 81 bzw. Kap. 9-4, S. 87). Das bedeutet, dass sich die Sprechhandlungen dieser Studierenden sehr häufig auf die Fragen „Wie gelangt man zu gültigen Messergebnissen?“ bzw. „Wie werden die physikalischen Größen gemessen?“ beziehen. Dieser Effekt konnte in Kapitel 9 nicht plausibel erklärt werden, da er sich nicht auf die Art der Lernumgebung zurückführen lässt. Die Ergebnisse der Begriffsnetzanalyse deuten darauf hin, dass der Befund mit dem Vorwissen der Studierenden zusammenhängt.

HALLER (1999) findet mit einer qualitativen Untersuchung einen vergleichbaren Zusammenhang zwischen Wissen und Handeln im Praktikum. Sie beobachtet, dass Studierende, die qualitativ bessere Concept Maps produzieren als andere Studierende, auch ihre Handlungen während der Praktikumsarbeit anders regulieren. Unter anderem überprüfen sie, im Gegensatz zu anderen Studierenden, ihre Messungen rechnerisch.

Der Vermutung, dass allein Vorwissensunterschiede die Ursache für diese Befunde sind, widerspricht allerdings, dass nach den Ergebnissen der Begriffsnetzanalyse die Vorwissensunterschiede gerade im Inhaltsbereich Messung eher gering sind, während sie z.B. im physikalisch-theoretischen Wissensbereich wesentlich deutlicher ausfallen (Abb. 11.2). Es ist darum unwahrscheinlich, dass das hohe Vorwissen der Vpn der

Gruppe MBL die alleinige Ursache für den hohen Anteil messbezogener Sprechhandlungen während der Praktikumsarbeit ist.

Um den postulierten Zusammenhang zu erklären, muss daher angenommen werden, dass es noch eine weitere Variable gibt, die sich sowohl in der Zahl der Begriffsnetzverbindungen als auch im Anteil messbezogener Sprechhandlungen an der Praktikumszeit niederschlägt. Eine solche Variable könnte die Einstellung zum oder das Interesse am Praktikum, und das damit verbundene Engagement der Studierenden, sein. Auch motivationale Aspekte könnten eine Rolle spielen. Es kann zum Beispiel vermutet werden, dass Studierende mit einer positiven Einstellung zum Praktikum, oder einer hohen Motivation, engagierter sind als Studierende mit einer negativen Einstellung oder geringen Motivation.

Ein zusätzlicher Hinweis auf einen solchen Zusammenhang ist die Tatsache, dass sich gerade in den „computergestützten“ Gruppen MBL und MBS die Vpn mit dem höchsten Vorwissen befinden (Abb. 11.2). Wie oben beschrieben (S. 117) haben sich die meisten dieser Studierenden zur Teilnahme an der Untersuchung gemeldet, weil sie unbedingt mit dem Computer arbeiten wollten, was auf ein besonderes Interesse bzw. eine hohe Motivation hindeutet (vgl. Kap. 7-2 bzw. 7-5). Dies könnte sich sowohl auf die Versuchsvorbereitung der Studierenden, und auf das mit den Begriffsnetzen erfasste Vorwissen, als auch auf die Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit positiv auswirken. Berücksichtigt man ferner, dass, wie die Ergebnisse der Videoanalyse zeigen, das Aufnehmen von Messwerten im Mittelpunkt der Praktikumsarbeit steht (siehe Kap. 9), wird auch plausibel, dass sich ein höheres Engagement der Studierenden in den messbezogenen Sprechhandlungen niederschlägt.

Korrelation von Video- und Begriffsnetzdaten

Mit der Videoanalyse (siehe Kap. 9) konnte gezeigt werden, dass die Vpn der Gruppe MBS ihre Handlungen wesentlich häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene (physikalisch-theoriegeleitet) regulieren als die Vpn der Gruppen TRAD und MBL. Dieser Unterschied schlägt sich nicht in einem höheren Wissenszuwachs der Vpn der Gruppe MBS im Bereich physikalischer Theorie nieder. Die Ergebnisse der Varianzanalyse der Begriffsnetze (Abschnitt 11-2) widersprechen daher der Vermutung, dass Studierende, die sich während der Versuchsdurchführung mehr mit physikalischer Theorie befassen als andere Studierende, auch einen höheren Wissenszuwachs in diesem Bereich haben.

Zur Auswertung sowohl der Videoaufzeichnungen als auch der Begriffsnetze werden die gleichen, aus theoretischen Überlegungen abgeleiteten Kategorien benutzt (siehe Kap. 10). Zur genaueren Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Handlungen der Studierenden während der Praktikumsarbeit und ihrem Lernerfolg lassen sich darum beide Datensätze miteinander korrelieren.

Als Maß für den Lernerfolg werden dabei die gewichteten Zuwächse der Begriffsnetzverbindungen betrachtet (Formel 11.1), da die Zahl der Verbindungen wegen der beschränkten Anzahl der zum Versuch gehörigen Objekte und Messungen, sowie durch den eingegrenzten physikalischen Themenbereich, begrenzt ist.

$$Z = \frac{N(nachmap) - N(vormap)}{N(referenznetz) - N(vormap)}$$

Formel 11.1: Gewichteter Zuwachs (Z) der Begriffsnetzverbindungen einer Vpn. Es ergeben sich Prozentwerte. 100% entspricht dem maximal möglichen Zuwachs, bezogen auf das Referenznetz.

Tabelle 11.3 zeigt, wie die Anteile der verschiedenen handlungsleitenden Kognitionen an der Praktikumszeit mit den Wissenszuwächsen in den verschiedenen Referenznetzbereichen korrelieren. Es werden also die Daten aus den Tabellen 9.4 (S. 81) und 9.6 (S. 84) mit den Daten aus Tabelle 11.2-1 (S. 119) korreliert.

Inhaltsbereiche/Kognitive Ebenen d. Praktikumsarbeit	Referenznetzbereiche: Kein	Messung	Physik	deskript.	abstrakt	*gesamt*
x	-.17	.00	-.19	-.06	-.23	*-.19*
Kein	-.47	.33	-.16	-.06	-.18	*-.11*
Messung	.48	.18	.38	.42	.30	*.42*
Physik	.13	-.49	-.08	-.36	.06	*-.17*
deskript.	.10	-.38	-.20	-.25	-.14	*-.22*
abstrakt	.14	-.47	.08	-.37	.29	*-.04*

Tabelle 11.3: Korrelationskoeffizienten der Anteile der verschiedenen Sprechhandlungen der Vpn an der Praktikumszeit (siehe Kap. 9) mit dem Wissenszuwachs der Vpn in den verschiedenen Referenznetzbereichen. Keine der Korrelationen ist statistisch signifikant.

Keiner der Korrelationskoeffizienten in Tabelle 11.3 ist statistisch signifikant. Wie die Ergebnisse der Varianzanalyse bereits vermuten ließen (s.o.), besteht also kein direkter Zusammenhang zwischen der Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit und dem Lernerfolg.

Das widerspricht der Annahme, dass bestimmte Handlungsweisen während der Praktikumsarbeit, die durch die Lernumgebung gefördert werden, zu bestimmten Lerneffekten führen. Dabei handelt es sich um eine Grundannahme der vorliegenden Untersuchung (vgl. Kap. 6-2, S. 37): Es wird davon ausgegangen, dass die Auseinandersetzung mit physikalischen Konzepten während der Praktikumsarbeit Voraussetzung für Physiklernen ist. Diese Annahme scheint nicht zuzutreffen. Die Ergebnisse deuten vielmehr darauf hin, dass das Lernen im Praktikum von der eigentlichen Praktikumsarbeit (der Handlungsregulation) unabhängig ist.

In Tabelle 11.3 liegt, obgleich keine der Korrelationen signifikant ist, bezüglich des Anteils messbezogener Sprechhandlungen an der Praktikumszeit eine auffällige Systematik vor (dritte Zeile von Tabelle 11.3): Es ist die einzige Variable, die deutlich und positiv mit dem Gesamt-Wissenszuwachs korreliert. Sie korreliert außerdem positiv mit dem

Wissenszuwachs in allen Referenznetzbereichen. Damit wird die oben beschriebene Vermutung erhärtet, dass ein indirekter Zusammenhang zwischen dem in den Begriffsnetzen dargestellten Wissen der Studierenden und der Häufigkeit ihrer messbezogenen Sprechhandlungen während der Praktikumsarbeit besteht. Offenbar haben die Studierenden, deren Sprechhandlungen während der Praktikumsarbeit sich am häufigsten auf den Inhaltsbereich Messung beziehen, auch den höchsten Wissenszuwachs. Es sind auch die Studierenden mit dem durchschnittlich höchsten Vorwissen (s.o.).

11-4 QUALITATIVE AUSWERTUNG

Mit den Varianzanalysen in Abschnitt 11-2 wurde untersucht, ob zwischen den drei Vpn-Gruppen Unterschiede im Wissen vor und nach Durchführung des Praktikumsexperiments bestehen. Weitere Erkenntnisse über das durch die Durchführung des Praktikumsexperiments erworbene Wissen lassen sich mit qualitativen Betrachtungen der Begriffsnetze gewinnen. Es wird hierfür nicht mehr zwischen den Gruppen TRAD, MBL und MBS unterschieden, da die statistische Auswertung keine signifikanten Effekte ergab, die dies notwendig machen (s.o.).

Es gibt insgesamt vier wichtige Beobachtungen bei der Analyse der Begriffsnetze, auf die in diesem Abschnitt genauer eingegangen wird. Alle Befunde lassen sich, wie im Folgenden gezeigt wird, mit der Rolle der Versuchsanleitung in Zusammenhang bringen oder erklären:

(1) Die *vor* der Versuchsdurchführung erhobenen Begriffsnetze (Vormaps) sind zum Teil bereits sehr umfangreich und detailliert.

(2) Im Gegensatz dazu fällt der Wissens*zuwachs* (der Lernerfolg) im Durchschnitt relativ gering aus. Es gibt allerdings Studierende, die einen sehr viel höheren Wissenszuwachs haben als andere.

(3) Es gibt bestimmte Wissenselemente (Propositionen), die häufiger als andere Wissenselemente mit der Durchführung des Praktikumsexperiments von den Studierenden gelernt werden.

(4) Es gibt Fehlvorstellungen bzw. Missverständnisse, die sowohl vor als auch nach der Versuchsdurchführung in den Begriffsnetzen auftreten.

(1) Umfang der Vormaps

Die meisten Vpn geben bereits in den vor der Versuchsdurchführung erhobenen Begriffsnetzen eine sehr detaillierte und umfassende Darstellung der physikalischen Theorie des Experiments, der Messverfahren und der Versuchsergebnisse. Im Durchschnitt enthalten die Vormaps 32% der Verbindungen des Referenznetzes. Der kleinste Wert liegt bei 22% (43 Verbindungen), der höchste bei 48% (94 Verbindungen), also fast der Hälfte der Propositionen des Referenznetzes. Der hohe Kenntnisstand über den Versuchsaufbau und -ablauf bereits vor der Durchführung des Experiments wird durch die Versuchsanleitung ermöglicht. Die Studierenden bereiten sich in der Regel ausschließlich anhand der Anleitung auf den Versuch vor. Fast alle Begriffsnetzverbindungen finden sich daher in der Versuchsanleitung wieder (vgl. Kap. 10-3, S. 107). Nur wenige Vpn äußern Begriffe oder Zusammenhänge, die nicht in der Versuchsanleitung enthalten sind. Wäre die Anleitung weniger detailliert und ausführlich, so wären die Verbindungszahlen der Vormaps vermutlich niedriger.

Hier liegt möglicherweise eine Erklärung für den Befund, dass die Begriffsnetze der Gruppe MBS (Modellbildungssystem) keinen höheren Wissenszuwachs im physikalischen Bereich zeigen als die Begriffsnetze der Gruppen TRAD und MBL (s.o.). Dies wäre eigentlich zu erwarten gewesen, da die Vpn der Gruppe MBS sich durch das Modellbildungssystem wesentlich häufiger mit den physikalischen Zusammenhängen des Experiments befassen (siehe Kap. 9). Dabei wenden die Studierenden ihr physikalisches Wissen an. Da die physikalischen Zusammenhänge aber bereits in der Versuchsanleitung ausführlich erläutert sind, waren sie, wie sich in den Begriffsnetzen erkennen lässt, schon vorher in der Lage, diese darzustellen. Die Versuchsanleitung scheint also einem aktiven Erwerb neuen Wissens durch die Praktikumsarbeit vorzugreifen.

(2) Höhe des Wissenszuwachses

Mit der Videoanalyse wurde gezeigt, dass während der Praktikumsarbeit die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden wesentlich häufiger dem Inhaltsbereich Messung als dem Inhaltsbereich Physik zuzuordnen sind. Zudem findet die Handlungsregulation bei der Praktikumsarbeit nur sehr selten auf der abstrakten kognitiven Ebene statt. Am Ende von Kapitel 9 wurde daher postuliert, dass der Wissenszuwachs im physikalischen Bereich, und insbesondere bezüglich physikalischer Theorie, geringer ausfällt als im messbezogenen Bereich.

Abbildung 11.3 zeigt, gemittelt über alle 18 Vpn, den gewichteten Zuwachs (s.o.) in den verschiedenen Inhaltsbereichen, sowie bezüglich der deskriptiven und abstrakten kognitiven Ebene. Danach ist der Zuwachs an Verbindungen in allen Bereichen des Referenznetzes etwa gleich groß. Dieser Befund bestätigt somit die Ergebnisse des vorhergehenden Abschnitts (11-3), nach denen kein direkter Zusammenhang zwischen Praktikumsarbeit und Wissenserwerb besteht.

Aus Abbildung 11.3 wird ferner deutlich, dass der mit der Durchführung des Praktikumsexperiments verbundene Wissenszuwachs im Durchschnitt eher gering ausfällt. Er liegt zwischen 13% und 18% (Mittelwert: 15,2%) des in den Referenznetzbereichen jeweils möglichen Zuwachses. Bezieht man dies auf die obige Feststellung, dass die Vormaps der Studierenden bereits relativ umfangreich sind, so liegt die Vermutung nahe, dass die Studierenden mehr neues Wissen durch die Vorbereitung anhand der Versuchsanleitung erwerben als durch die eigentliche Versuchsdurchführung. Wie sich weiter unten zeigen wird, gibt es hierfür weitere Anhaltspunkte.

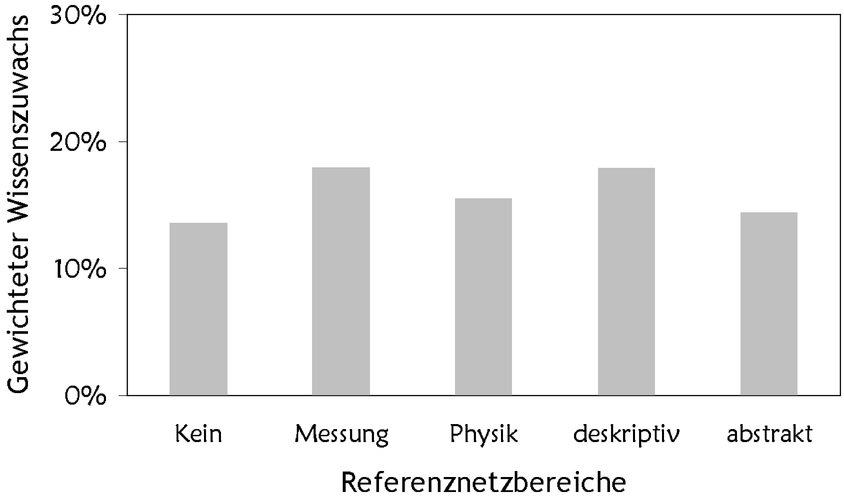


Abbildung 11.3: Durchschnittlicher gewichteter Wissenszuwachs in den verschiedenen Inhaltsbereichen und bezüglich der deskriptiven und abstrakten kognitiven Ebene (N=18).

Neben dem durchschnittlichen Wissenszuwachs ist es aufschlussreich, die Extremwerte zu betrachten. In Abbildung 11.4 sind die Wissenszuwächse für die einzelnen Studierenden dargestellt.

Dabei fällt zum einen auf, dass es mehrere Vpn mit einem sehr geringen Wissenszuwachs gibt. Ein Zuwachs unter 10% bedeutet, dass weniger als 10 Verbindungen zum Vormap hinzukommen. In einem Fall sind es sogar nur 4 Verbindungen (3,1%). Andererseits gibt es mehrere Vpn mit einem relativ hohen Wissenszuwachs. Ein Zuwachs über 20% bedeutet, dass mehr als 28 Verbindungen zum Vormap hinzukommen. In einem Fall sind es 38 Verbindungen (29,9%).

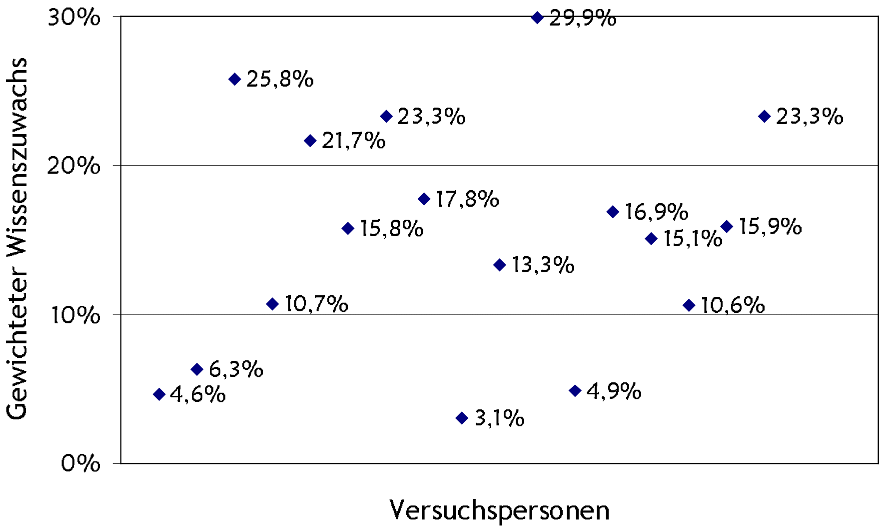


Abbildung 11.4: Wissenszuwächse der einzelnen Studierenden (in alphabetischer Ordnung).

Einige der Vpn scheinen also durch die Durchführung des Praktikumsexperiments fast überhaupt kein physikalisches und experimentelles Wissen zu erwerben, während bei anderen Vpn ein deutlicher Lernerfolg zu beobachten ist. Wie oben gezeigt (Abschnitt 11-2), lassen sich die Unterschiede im Wissenserwerb nicht auf die unterschiedlichen Lernbedingungen zurückführen. Die großen Unterschiede zwischen einzelnen Vpn müssen ihre Ursache daher in den individuellen Voraussetzungen der Studierenden haben. Es gibt zwei Erklärungsansätze. Einer bezieht sich auf den kognitiven, der zweite auf den affektiven Bereich:

(1) Unterschiedliches Vorwissen führt zu unterschiedlich hohem Wissenszuwachs.

(2) Es gibt noch andere Einflussfaktoren, die mit der Analyse der Videoaufzeichnungen und mit den Begriffsnetzen nicht erfasst werden. Dies könnten, wie oben bereits vermutet, die Einstellung oder das Interesse der Studierenden, oder motivationale Faktoren sein. Beispielsweise ist vorstellbar, dass besonders motivierte Studierenden sich über die „minimale" Praktikumsarbeit hinaus mit dem Versuchsthema befassen und daher mehr neues Wissen erwerben als weniger motivierte Studierende.

Möglicherweise gibt es auch Interaktionen zwischen kognitiven und affektiven Einflussfaktoren. Dies ist sogar wahrscheinlich, wenn man die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Befunde berücksichtigt (Abschnitte 11-2 u. 11-3, S. 122). Dort wird zum einen ein Zusammenhang zwischen Vorwissen und Wissenserwerb beschrieben. Zum anderen ist hohes Vorwissen aber vermutlich nicht die alleinige Ursache für einen hohen Wissenserwerb. So kann man davon ausgehen, dass motivierte Studierenden sich intensiver vorbereiten und daher mehr Vorwissen haben.

Durch die großen Unterschiede im Lernerfolg zwischen einzelnen Vpn verstärkt sich also der Eindruck, dass die individuellen Voraussetzungen der Studierenden, insbesondere affektive Variablen, eine wichtige Rolle beim Lernen im Praktikum spielen.

(3) Häufigkeit einzelner Propositionen

Die Häufigkeit, mit der die einzelnen Verbindungen des Referenznetzes als Wissenszuwachs auftreten, wurde bestimmt. Die meisten der 195 Verbindungen des Referenznetzes treten bei nur einer oder zwei Vpn als Wissenszuwachs auf. Es gibt aber bestimmte Verbindungen, bei denen dies häufiger der Fall ist. In Tabelle 11.4 sind Verbindungen aufgeführt, die bei mindestens vier Vpn im Vormap fehlen, aber im Nachmap enthalten sind.

Die meisten der in Tabelle 11.4 aufgeführten Verbindungen hängen inhaltlich zusammen. Diese Verbindungen sind in der Tabelle gruppiert. Es gibt zwei Hauptgruppen:

- Zum einen handelt es sich um Propositionen, die die Abhängigkeit von Amplitude und Phasenverschiebung von der Frequenz beschreiben (erste Gruppierung in Tab. 11.4). Dazu gehört z.B. das Auftreten eines Amplituden- bzw. Phasensprungs, die Abhängigkeit der Sprunghöhe von der Richtung der Frequenzänderung, und der Verlauf der Amplituden- bzw. Phasenkurve gegen Null und Unendlich. Es handelt sich hier um Wissenselemente, die zum zentralen physikalischen Inhalt des Praktikumsversuchs gehören (vgl. Kap. 7-1). Besonders häufig beziehen sich die Studierenden dabei auf das Verhalten der Phasenverschiebung. Das ist plausibel, denn über den Verlauf der Phase werden in der Versuchsanleitung fast keine Angaben gemacht. Im Gegensatz zur Amplitudenkurve, die in der Versuchsanleitung abgebildet ist, müssen die Studierenden, um die Phasenkurve zu sehen, zuerst ihre Messungen auswerten.

BEGRIFF 1	VERBINDUNG	BEGRIFF 2	N	THEMA
Sprung	*der →*	experimentelle Kurve	4	*Verlauf Amplituden- und Phasenkurve*
Sprungfrequenz	*des →*	Sprung	5	
Sprungfrequenz	*abhängig von →*	Frequenzänderung	5	
mehrere Werte	*gilt für →*	Phase	9	
mehrere Werte	*gilt für →*	Amplitude	4	
mehrere Werte	*bei →*	mittlere Frequenz	4	
Null	*gilt für →*	Phase	8	
Null	*bei →*	verschwind. Frequenz	7	
π	*gilt für →*	Phase	4	
π	*bei →*	unendliche Frequenz	5	
$A(0) = M(0) / (D\text{-}mgr)$	*bei →*	verschwind. Frequenz	5	
$\varphi = 2\pi \cdot \Delta T/T$	*errechnen →*	Phase	6	*Messung der Phasenverschiebung*
$\varphi = 2\pi \cdot \Delta T/T$	*errechnen →*	Zeitraum ΔT	6	
Zeitraum ΔT	*errechnen →*	Nulldurchgang	6	
Zeitraum ΔT	*ablesen an →*	Computer	4	
Nulldurchgang	*← bei*	Schwungscheibe	6	
Lichtschranke	*bewirkt →*	Signal	4	
Signal	*wirkt auf →*	Computer	4	
Potentiometer	*← des*	Spannung	5	
$MD = -D\,\varphi$	*abhängig von →*	Federkonstante	4	
$MD = -D\,\varphi$	*abhängig von →*	Auslenkung	4	
$\alpha = R(I) / (2\,\theta_0)$	*errechnen →*	Steigung	4	
Gesamtdrehmoment	*abhängig →*	$MG = -mgr \sin\varphi$	4	
$M_0 = D\,A_0$	*← errechnen*	Motordrehmoment	4	

Tabelle 11.4: Verbindungen, die bei mehr als vier Vpn als Wissenszuwachs auftreten. Die letzte Spalte (N) zeigt an, wie häufig eine Verbindung im Vormap einer Vpn fehlt, aber im Nachmap enthalten ist. Verbindungen, die nicht durch eine Linie getrennt sind, hängen inhaltlich zusammen.

- Zum anderen handelt es sich um Propositionen, die das Verfahren zur Messung der Phase beschreiben (zweite Gruppierung in Tab. 11.4). Dies lässt sich ebenfalls damit begründen, dass die Versuchsanleitung hier nur wenige Angaben macht. Zwar ist der Versuchsaufbau in der Versuchsanleitung beschrieben, das genaue Vorgehen bei der Messung der Phasenverschiebung ist allerdings, ohne den realen Versuchsaufbau gesehen oder an ihm gearbeitet zu haben, nur schwer verständlich. Die Studierenden sind also erst nach der Versuchsdurchführung in der Lage, die Phasenmessung im Begriffsnetz zu beschreiben.

Diese Ergebnisse belegen, dass der Versuchsanleitung nicht nur im Hinblick auf die Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit eine zentrale Rolle zukommt (siehe Kap. 9), sondern auch im Hinblick auf die Art und den Umfang des von den Studierenden erworbenen Wissens. Mit der Durchführung des Praktikumsexperiments wird offenbar vor allem solches Wissen erworben, das sich nicht der Versuchsanleitung entnehmen lässt, oder das dort nicht ausreichend erklärt oder veranschaulicht wird.

(4) Fehlvorstellungen

Bei der Auswertung der anhand der Begriffsnetze geführten Interviews fällt auf, dass das Konzept der stationären Amplitude zu großer Verwirrung bei den Studierenden führt. Laut Versuchsanleitung (siehe Anhang) ist die stationäre Amplitude die Amplitude des Pendels, die sich nach Abklingen der Einschwingvorgänge nach der Vorgabe einer bestimmten Erregerfrequenz einstellt. Mehr als die Hälfte der Vpn benutzt das Konzept in den Begriffsnetzen falsch, und zwar sowohl vor als auch nach Durchführung des Praktikumsexperiments. Wahlweise werden die statische Amplitude (bei der Messung der Federkonstanten), die Amplitude des Erregerdrehmoments, oder die Amplitude der harmonischen Schwingung als stationäre Amplitude bezeichnet. Die Studierenden bedienen sich also eines Begriffs, den sie der Versuchsanleitung entnommen haben, dessen Bedeutung ihnen aber unklar ist. Die Durchführung des Praktikumsexperiments ändert daran nichts.

Der Begriff stationäre Amplitude dient lediglich zur Bezeichnung eines bestimmten Phänomens. Es handelt sich außerdem um eine Einzelbeobachtung. Dennoch wird eine Gefahr deutlich, die mit der untersuchten Form des Praktikums verbunden ist: In der Versuchsanleitung ist auch der relativ komplexe, den meisten Vpn nach ihren Aussagen unbekannte, physikalisch-theoretische Hintergrund des Experiments beschrieben. Daher besteht die Gefahr, dass die Studierenden Formulierungen der Versuchsanleitung auswendig lernen oder übernehmen, ohne die physikalischen Zusammenhänge zu verstehen (z. B. um das Kolloquium vor Versuchsbeginn zu bestehen).

Weitere Beobachtungen stützen diese Hypothese. Die Mehrzahl der Vpn äußert in den Interviews, dass sie diesen Praktikumsversuch sehr interessant findet. Als Grund werden die für die Vpn neuen, nichtlinearen Effekte angegeben. Dabei sprechen die Studierenden häufig von Fraktalen und Oberschwingungen (z.B.: „Mit Fraktalen habe ich mich früher schon mal aus Interesse beschäftigt, Apfelmännchen und so...“). Diese Phänomene werden zwar in der Versuchsanleitung erwähnt, sind aber nicht das eigentliche Thema des Versuchs. Es gibt ferner eine Szene in einer Videoaufzeichnung, bei der die Studierenden nach dem abrupten Zusammenbruch der Schwingungsamplitude die Einschwingvorgänge auf dem Computerbildschirm beobachten. Angesichts der starken Schwankungen der Amplitude des Schwungrades sagt ein Student: „Au, das sind jetzt bestimmt die Oberschwingungen." Auch dieses Beispiel zeigt, dass die in der Versuchsanleitung auftretenden Formulierungen als Etiketten für nicht verstandene Phänomene benutzt werden. Durch das Lesen der Anleitung werden Alltagsvorstellungen, die vor dem Versuch bereits länger bekannt aber undeutlich sind, nicht verändert. Die Gestaltung des Praktikums führt außerdem nicht dazu, diese Konstruktionen am Experiment zu überprüfen: Wie die Ergebnisse der Videoanalyse zeigen, können die Studierenden den Versuch absolvieren, ohne physikalisch-theoretisches Wissen zur Handlungsregulation zu benutzen. Es ist daher wahrscheinlich, dass neben neu erworbenen Kenntnissen auch Fehlvorstellungen das Praktikum überdauern und sogar gefestigt werden.

11-5 ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Kapitel wurden die Ergebnisse der Begriffsnetzanalyse vorgestellt. Es wurde, anhand von Versuch II („Anharmonische Schwingungen"), Hypothese (2) überprüft, nach der der Umfang des mit der Durchführung eines Praktikumsexperiments erworbenen physikalischen und experimentellen Wissens von der Art der Lernumgebung abhängt (siehe Anfang dieses Kapitels).

Es konnte gezeigt werden, dass die Durchführung eines Praktikumsexperiments zu einem Wissenszuwachs der Studierenden im Themenbereich des Experiments führt. Die Hypothesen (2a) und (2b) mussten aber verworfen werden: Studierende, die das Experiment computerunterstützt durchführen, haben in keinem der Referenznetzbereiche einen höheren Wissenszuwachs als Studierende im traditionellen Praktikum. Das gilt auch für Studierende, die im Praktikum mit einem Modellbildungssystem arbeiten und sich daher häufiger mit den physikalischen Zusammenhängen des Experiments befassen (Gruppe MBS). Demnach hat die Art der Lernumgebung keinen Einfluss auf den Wissenserwerb in diesem Praktikumsversuch. Auch die Korrelation der Anteile der verschiedenen Sprechhandlungen an der Praktikumszeit mit den Wissenszuwächsen ergab keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit und dem Lernerfolg. Es muss daher vermutet werden, dass es weitere Faktoren gibt, die das Lernen im Praktikum beeinflussen.

Es zeigt sich, dass die drei Gruppen nicht homogen bezüglich des Vorwissens sind. Dies hängt mit Problemen bei der Auswahl der Versuchspersonen zusammen, die dazu führten, dass ein signifikanter Vorwissensunterschied zwischen den Gruppen TRAD (traditionelles Praktikum; niedriges Vorwissen) und MBL (computergestützte Messwerterfassung; hohes Vorwissen) besteht. Die Vorwissensunterschiede konnten mit einem Befund aus der Videoanalyse in Verbindung gebracht werden, der sich in Kapitel 9 (Ergebnisse der Videoanalyse) nicht mit dem Einfluss der Lernumgebung erklären ließ. Es scheint demnach ein Zusammenhang zu bestehen zwischen dem Vorwissen, der Auseinandersetzung mit messbezogenen Inhalten während der Praktikumsarbeit und dem Wissenszuwachs.

Des Weiteren scheinen einige der Vpn durch die Durchführung des Praktikumsexperiments fast überhaupt kein physikalisches und experimentelles Wissen zu erwerben, während bei anderen Vpn ein deutlicher Lernerfolg zu beobachten ist. Da dieser Befund unabhängig von der Art der Lernumgebung auftritt, muss angenommen werden, dass die individuellen Voraussetzungen der Studierenden der Grund für diese Unterschiede sind. Die Analyseergebnisse deuten daraufhin, dass neben den kognitiven Voraussetzungen der Studierenden auch affektive Variablen wie die Einstellung zum Praktikum, das Interesse, oder motivationale Faktoren, eine bedeutende Rolle beim Lernen im Praktikum spielen. So kann man davon ausgehen, dass motivierte Studierende sich intensiver auf den Praktikumsversuch vorbereiten und daher mehr Vorwissen haben als andere. Sie zeigen auch während der Praktikumsarbeit mehr Engagement und erwerben mehr neues Wissen.

In diesem Kapitel wurde außerdem gezeigt, dass die Versuchsanleitung eine zentrale Rolle für den Wissenserwerb im Praktikum spielt. Aufgrund der Anleitung sind die Studierenden in der Lage, bereits vor der Durchführung des Praktikumsexperiments eine ausführliche und detaillierte Beschreibung der physikalischen Theorie, des Versuchsaufbaus, der durchzuführenden Messungen und der Versuchsergebnisse zu geben. Der Wissenszuwachs fällt dagegen relativ gering aus (durchschnittlich rund 15% des möglichen Zuwachses, bezogen auf das Referenznetz). Es werden offenbar vor allem solche Wissenselemente erworben, die durch die Versuchsanleitung nicht ausreichend erklärt oder veranschaulicht werden. Einem aktiven Erwerb neuen Wissens durch die Praktikumsarbeit greift die Versuchsanleitung jedoch vor. Dies ist auch eine mögliche Erklärung dafür, dass bei den Studierenden, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, keine größeren Unterschiede zwischen Vor- und Nachmap beobachtet werden, als bei anderen Studierenden.

Es kann ferner beobachtet werden, dass die Studierenden Alltagsbegriffe oder Formulierungen aus der Anleitung übernehmen, ohne deren Bedeutung zu verstehen. Da die Studierenden aufgrund der Gestaltung des Praktikums ihr physikalisches Wissen kaum zur Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit einsetzen (vgl. Kap. 9), ist es möglich, dass Alltagsvorstellungen nicht korrigiert oder sogar gefestigt werden.

Weiteres Vorgehen

Die Darstellung der Ergebnisse aus Video- und Begriffsnetzanalyse ist damit abgeschlossen. Im folgenden Kapitel werden die Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang diskutiert, und es werden die didaktischen Konsequenzen der Ergebnisse erläutert.

Kapitel 12

ERGEBNISDISKUSSION UND FOLGERUNGEN

12-1 EINFÜHRUNG

Die Ergebnisse zur Handlungsregulation und zum Wissenserwerb im Praktikum wurden bisher getrennt dargestellt. Ziel dieses Kapitels ist es, die in den Kapiteln 9 und 11 gewonnenen Ergebnisse zusammenzufassen und mögliche Konsequenzen für die Gestaltung physikalischer Praktika aufzuzeigen. Die Darstellung bezieht sich zunächst auf die Handlungsregulation und den Wissenserwerb im traditionellen Praktikum. Anschließend werden die Ergebnisse zum Computereinsatz zusammengefasst. Dabei wird jeweils auf die entsprechenden Abschnitte der vorhergehenden Kapitel, in denen die Ergebnisse gewonnen wurden, verwiesen. Am Ende des Kapitels wird auf Folgerungen, die sich bezüglich der Gestaltung von Praktika und des Computereinsatzes im Praktikum ergeben, eingegangen.

12-2 HANDLUNGSREGULATION IM PRAKTIKUM

Eines der meistgenannten Ziele physikalischer Praktika ist die praktische Anwendung physikalisch-theoretischer Konzepte und der aktive Erwerb physikalischen Wissens beim Experimentieren (vgl. Kap. 1-2). Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass dieses Ziel mit dem traditionell gestalteten Anfängerpraktikum kaum erreicht wird. In etwa 80% der Praktikumszeit haben die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden keinen Bezug zu physikalischen Konzepten (siehe Kap. 9-3). Werden physikalische Konzepte zur Handlungsregulation benutzt, so geschieht dies in der Regel auf der deskriptiven kognitiven Ebene. Das bedeutet, dass die handlungsleitenden Kognitionen sich nur auf Objekte und deren Eigenschaften, oder auf entsprechend einfache Handlungsprogramme beziehen. Eine Anwendung physikalischer Theorie (*manipulating ideas*, LUNETTA 1998) findet während der Praktikumsarbeit nicht statt. Auch während der Versuchsauswertung scheinen die Studierenden sich kaum mit physikalischer Theorie zu befassen (Kap. 9-5).

Eine Voraussetzung für den aktiven Erwerb physikalischen Wissens beim Experimentieren ist, dass physikalische Konzepte bewusst zur Handlungsregulation eingesetzt werden (Kap. 4-1 bzw. 4-3). Nach DÖRNER (1993) kann die Handlung dabei auf verschiedenen Ebenen reguliert werden: als Planendes Denken oder als Exploration (siehe Kap. 4-3, S. 29). Wenn auf der Stufe der Exploration gehandelt wird, kann neues Wissen erworben werden. Die in der Untersuchung eingesetzte Methodik erlaubt keine Aussage darüber, auf welcher Ebene nach DÖRNER die Handlungen während der Praktikumsarbeit reguliert werden. Die Untersuchungsergebnisse zeigen jedoch, dass, unabhängig von den Dörnerschen Ebenen, die Studierenden nur sehr selten physikalische Konzepte zur Handlungsregulation einsetzen. Es kann ferner davon ausgegangen werden, dass nur ein Teil dieser Handlungen auf der Stufe der Exploration reguliert wird und somit zu Wissenserwerb führt. Das traditionelle physikalische Anfängerpraktikum an der Universität stellt demnach keine für die Anwendung und den aktiven Erwerb physikalischen Wissens besonders geeignete Lernumgebung dar.

Die Untersuchungsergebnisse lassen auf zwei Mechanismen schließen, deren Wirkungen eng miteinander verknüpft sind, und die dazu führen, dass physikalisches Wissen nur in geringem Maße zur Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit eingesetzt wird: (a) die Art der ausgeübten Tätigkeiten und (b) der geringe Handlungsspielraum.

Routinetätigkeiten und manipulative Tätigkeiten

Die Praktikumsarbeit besteht zum überwiegenden Teil aus den Tätigkeiten Manipulieren und Messen (Kap. 9-2). Dabei werden in fast der Hälfte der Praktikumszeit Objekte manipuliert, Ereignisse beobachtet oder Handlungsprogramme ausgeführt, ohne dass die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden sich auf physikalische oder methodische Aspekte des Experiments beziehen (Kap. 9-3). Offenbar verbringen die Studierenden sehr viel Zeit mit einfachen Routinetätigkeiten, bei denen es nicht notwendig ist, die Handlungen physikalisch-theoriegeleitet zu regulieren. Mit solchen Tätigkeiten können lediglich manuelle Fertigkeiten oder Eigenschaften wie Geduld und Ausdauer trainiert werden.

Geringer Handlungsspielraum

Die Art der Tätigkeiten und die Anteile der Tätigkeiten an der Praktikumszeit sind im Wesentlichen von der Versuchsanleitung bestimmt (Kap. 9-2). Nur die Abfolge der Tätigkeiten kann variiert werden. Handlungsregulation im traditionellen Praktikum bedeutet demnach die Ausführung der in der Anleitung vorgegebenen Handlungen. Dabei ist der Einsatz physikalisch-theoretischen Wissens möglich (wenn etwa die in der Anleitung dargestellten Handlungsschritte gedanklich nachvollzogen werden), aber nicht notwendig.

Da die Studierenden die vorgegebenen Handlungen außerdem in einem vorgegebenen Zeitrahmen durchzuführen haben, wird die Möglichkeit zur theoriegeleiteten Handlungsregulation weiter eingeschränkt. Um die gestellten Aufgaben zu erfüllen konzentrieren sich die Studierenden auf das Absolvieren der durchzuführenden Messungen. Während der Praktikumsarbeit werden die Handlungen deshalb hauptsächlich von der Frage geleitet, wie gültige Messergebnisse zu erzielen sind (Kap. 9-3). Dabei rücken physikalische Problemstellungen in den Hintergrund.

Zur Rolle der Betreuung

Es gibt im traditionellen Praktikum nur eine Tätigkeit, die förderlich für die Beschäftigung mit physikalischer Theorie ist: die Interaktion mit dem Versuchsbetreuer (siehe Kap. 9-4). Durch die Fragen und Anregungen einer dritten Person werden die Studierenden gezwungen, sich mit den physikalischen Zusammenhängen des Experiments auseinander zusetzen. Das bedeutet, dass der Betreuung der Praktikumsarbeit eine sehr wichtige Rolle für das Physiklernen im Praktikum zukommt.

12-3 WISSENSERWERB IM PRAKTIKUM

Durch die Durchführung eines Praktikumsversuchs kann experimentelles und physikalisches Wissen erworben werden (Kap. 11). Nach den Untersuchungsergebnissen gibt es zwei wesentliche Faktoren, die den Wissenserwerb im Praktikum beeinflussen: (a) die Versuchsanleitung und (b) die individuellen Voraussetzungen der Studierenden.

Rolle der Versuchsanleitung

Offenbar wird ein bedeutender Teil des mit der Durchführung des Praktikumsexperiments erworbenen Wissens nicht durch die Praktikumsarbeit erworben, sondern durch die Beschäftigung mit der Versuchsanleitung (Kap. 11-4). Einem Wissenserwerb im Praktikum wird dadurch vorgegriffen. Durch die Praktikumsarbeit werden offenbar vor allem solche Wissenselemente erworben, die von der Versuchsanleitung nicht oder nicht genau beschrieben werden (Kap. 11-4).

Die Versuchsanleitung ist für die Studierenden in der Regel die einzige Quelle für die Vorbereitung auf das Praktikumsexperiment (Kap. 10-3). Es konnte beobachtet werden, dass die Studierenden Formulierungen aus der Versuchsanleitung übernehmen, ohne die physikalische Bedeutung derselben verstanden zu haben. Da, wie gezeigt, die Gestaltung des Praktikums nicht dazu führt, dass physikalische Konzepte am Experiment überprüft werden, besteht die Gefahr, dass Alltagsvorstellungen das Praktikum überdauern.

Individuelle Voraussetzungen der Studierenden

Für das untersuchte Experiment kann kein direkter Zusammenhang zwischen Art und Umfang des erworbenen Wissens und der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit nachgewiesen werden (Kap. 11-2 u. 11-3). Das Lernen im Praktikum scheint von der Praktikumsarbeit, und damit von der Art der Lernumgebung, unabhängig zu sein. Da es dennoch deutliche Unterschiede im Wissenserwerb zwischen einzelnen Studierenden gibt, muss davon ausgegangen werden, dass die persönlichen Merkmale der Studierenden einen wichtigen Einflussfaktor darstellen. Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass neben den kognitiven Voraussetzungen der Studierenden affektive Variablen eine Rolle beim Lernen im Praktikum spielen. Man kann vermuten, dass motivierte Studierende sich intensiver auf das Praktikumsexperiment vorbereiten, während der Praktikumsarbeit mehr Engagement zeigen und auch mehr Wissen erwerben als andere Studierende (Kap. 11-3).

Bisherige Forschungen geben wenig Aufschluss darüber, welche Variablen den Lernerfolg im Praktikum beeinflussen, und welchen Einfluss affektive Variablen haben (TOH 1990; vgl. Kap. 2-1). Bezüglich des Praktikums an der Universität gibt es hierzu keinerlei Erkenntnisse. Möglicherweise wird auf Hochschulebene die Rolle affektiver Einflussfaktoren auf das Handeln und Lernen im Praktikum unterschätzt. Vielfach wird davon ausgegangen, dass Studierende der Physik ausreichend motiviert sind, um sich im Praktikum zu engagieren (vgl. Kap. 1-2, S. 7).

TOH (1990) zeigt mit einer Untersuchung an Schülern, dass affektive und kognitive Variablen gleichermaßen für einen guten Lernerfolg durch experimentelles Arbeiten verantwortlich sind. Dabei erweist sich insbesondere die Einstellung zur Schule als guter Prädiktor für Leistung in praktischen Tests. Auch OKEBUKOLA (1985) findet einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Einstellung von Schülern zum Praktikum, ihren experimentellen Fähigkeiten und ihren Handlungen während der Praktikumsarbeit. BIANCHINI (1997) berichtet Befunde, die denen der vorliegenden Untersuchung ähneln. Sie beobachtet, dass in einem auf Gruppenarbeit basierenden Experimentalunterricht in Biologie die Gespräche von Schülern nur selten über das Beschreiben von Beobachtungen und die Diskussion von praktischen Vorgehensweisen hinausgehen. Fachliche Konzepte werden dabei, unter anderem weil der Zeitrahmen zu gering ist, nicht berührt. Die Auseinandersetzung mit fachlichen Inhalten findet somit außerhalb des eigentlichen Unterrichts statt und ist den Schülern selbst überlassen.

Bezogen auf das physikalische Anfängerpraktikum bedeutet dies, dass die Bereitschaft der Studierenden, über die Versuchsdurchführung hinaus Zeit und Interesse am Versuchsthema aufzubringen, ein bedeutender Einflussfaktor für den Wissenserwerb ist. Trotzdem können auch Studierende, die wenig Engagement zeigen, das Praktikum erfolgreich absolvieren, da die Versuchsanleitung alle hierzu notwendigen Informationen liefert und jederzeit auf sie zurückgegriffen werden kann.

12-4 COMPUTERGESTÜTZTE MESSWERTERFASSUNG

Insgesamt führt der Einsatz computergestützter Messwerterfassung in dieser Untersuchung zu keinem positiven Einfluss auf das Physiklernen im Praktikum. Ein wesentlicher Grund dafür liegt darin, dass der Computer unter den Rahmenbedingungen des traditionellen Praktikums eingesetzt wurde (Kap. 9-4). Dies war notwendig, um die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse in den drei Lernumgebungen zu gewährleisten. Um die Vorteile des Computereinsatzes zur Messwerterfassung zur Geltung zu bringen, bedarf es aber einer umfassenderen Umgestaltung der Lernumgebung.

Die graphische Darstellung der Schwingungskurven in Echtzeit bietet Anknüpfpunkte für physikbezogene Diskussionen, die die traditionelle Lernumgebung nicht bietet. Solche Diskussionen treten in der Untersuchung jedoch nur vereinzelt auf. Im Kontext des traditionellen Praktikums kommt dieser Vorteil des Computereinsatzes kaum zur Geltung, da die Studierenden sich vor allem auf das Durchführen von Messungen konzentrieren (s.o.) (Kap. 9-4).

Ein Zeitgewinn durch die computergestützte Messwertaufnahme wurde bei den in dieser Untersuchung betrachteten Experimenten nicht erreicht (Kap. 9-2). Das Ablesen der Messwerte anhand der graphischen Darstellung auf dem Computerbildschirm bewirkt jedoch, dass die Studierenden sich weniger ablenken als im traditionellen Praktikum. Sie sind während der gesamten Praktikumsarbeit auf den Computer konzentriert (Kap. 9-2 bzw. 9-3). Im Fall von Versuch II („Anharmonische Schwingungen“) führt dies dazu, dass alle betreffenden Studierenden das zentrale physikalische Phänomen des Versuchs, eine plötzliche Verringerung der Schwingungsamplitude, übersehen, da sie, statt das Drehpendel zu beobachten, ihre Aufmerksamkeit ausschließlich auf den Computerbildschirm richten.

Verbindung von Praktikums- und Auswertearbeit

Nach den Untersuchungsergebnissen liegt der Hauptvorteil computergestützter Messwerterfassung in der Möglichkeit, Auswertungen im direkten Zusammenhang mit der Datenaufnahme durchzuführen (Kap. 9-6).

Aus physikdidaktischer Sicht liegt der Vorteil darin, dass die Studierenden überprüfen können, inwieweit die Messergebnisse mit den aus der physikalischen Theorie abgeleiteten Erwartungen übereinstimmen. Dies kann zur selbstständigen Entdeckung von Messfehlern durch die Studierenden führen. Dabei können Fehlerquellen und physikalische und experimentelle Aspekte des Experiments diskutiert werden. Außerdem wird den Studierenden die Möglichkeit eröffnet, die Messung zu wiederholen, und den Fehler zu korrigieren.

Aus handlungstheoretischer Sicht liegt der Vorteil darin, dass die Studierenden eine Rückmeldung erhalten. Sie ermöglicht ihnen, selbstständig zu überprüfen, inwieweit die Ergebnisse ihrer Handlungen mit ihren Zielen übereinstimmen. Nach HACKER (1986) und VOLPERT (1994) ist die Rückmeldung wesentlicher Bestandteil einer vollständigen Handlung. Das Handlungsziel dient dabei als Sollwert, der dem Vergleich mit dem tatsächlichen Resultat der Handlung zugrunde gelegt wird (siehe Kap. 4-2). Rückmeldungen haben sowohl eine informative als auch eine motivierende Funktion (z.B. KLEINBECK 1996). Insbesondere die daraus entstehenden eigenverantwortlichen Handlungsmöglichkeiten können zur Motivierung der Lernenden beitragen (MANDL & HRON 1989, siehe Kap. 3-1).

Es konnte jedoch nur eine Vpn-Gruppe beobachtet werden, die in der beschriebenen Weise vom Computer Gebrauch macht (Kap. 9-6). Das Praktikum ist so gut angeleitet, dass den Studierenden in der Regel keine bedeutenden Fehler im Versuchsaufbau oder beim Messen unterlaufen. Das unterstreicht, dass die Rahmenbedingungen des traditionellen Praktikums für einen Computereinsatz nicht geeignet sind.

12-4 MODELLBILDUNG UND SIMULATION

Der Einsatz eines Modellbildungssystems erweist sich als wirkungsvolles Hilfsmittel zur Förderung der Auseinandersetzung mit physikalischer Theorie während der Praktikumsarbeit. Dabei muss man aber zwischen den Tätigkeiten der Modellbildung und der Simulation unterscheiden.

Modellbildung

Die Erstellung eines Modells zum Praktikumsexperiment ist die einzige Tätigkeit im Praktikum, die theoriegeleitetes Handeln in deutlicher Weise fördert (Kap. 9-4). Sie ist diesbezüglich darum effektiver als alle anderen Tätigkeiten. Ähnlich wie bei Interaktionen mit dem Betreuer (s.o.) sind die Studierenden bei der Modellbildung gezwungen, bei der Handlungsregulation auf ihr Wissen über physikalische Zusammenhänge zurückzugreifen.

Allerdings konnte mit den Begriffsnetzen kein höherer Wissenszuwachs der Studierenden, die mit einem Modellbildungssystem arbeiten, verglichen mit anderen Studierenden, nachgewiesen werden. Dies ist vermutlich, wie schon bei der computergestützten Messwerterfassung (s.o.), darauf zurückzuführen, dass der Computer unter den Rahmenbedingungen des traditionellen Praktikums eingesetzt wurde. Dadurch, dass der physikalisch-theoretische Hintergrund des Experiments in der Versuchsanleitung bereits ausführlich dargelegt ist, wird einem Erwerb neuen Wissens bei der Modellbildung vorgegriffen (Kap. 11-4). Dennoch kommt der Modellbildung eine wichtige Funktion zu. Sie bewirkt, dass die Studierenden ihr Wissen über physikalische Zusammenhänge im Kontext des Praktikumsexperiments einsetzen und überprüfen. Dies ist, wie gezeigt, im traditionellen Praktikum nicht der Fall (s.o.).

Simulationen

Die Tätigkeit der Simulation fördert die Verwendung physikalischen Wissens zur Handlungsregulation nicht unmittelbar (Kap. 9-4). Zur Durchführung von Simulationen genügt es, die Parameter systematisch zu variieren. Hierfür bedarf es geringer kognitiver Leistungen. Dennoch kann das Durchführen von Simulationen helfen, die Lernumgebung effektiver zu gestalten. Wird das Experiment vor Beginn der Messungen simuliert, so bekommen die Studierenden eine Vorstellung von der Art und der Größenordnung der zu erhaltenden Ergebnisse. Dies hilft ihnen, die eigenen Handlungsziele zu konkretisieren und präzisieren. Im Fall von Versuch II („Anharmonische Schwingungen“) führt dies dazu, dass, im Gegensatz zu Studierenden, die den Computer nur zur Messwerterfassung einsetzen (s.o.), alle Studierenden, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, das zentrale physikalische Phänomen des Versuchs, eine plötzliche Verringerung der Schwingungsamplitude, beobachten (Kap. 9-2).

Die Simulation hat außerdem die wichtige Funktion, den Studierenden Rückmeldung über den Erfolg ihrer Handlungen bei der Modellerstellung zu geben. Die Interaktivität des Mediums ermöglicht eine sofortige und selbstständige Handlungskontrolle und –korrektur (vgl. MANDL & HRON 1989; LINN 1998; Kap. 3-1). Bei dieser Art der Rückmeldung greifen die Studierenden nicht, wie im traditionellen Praktikum, auf eine Anleitung, die das richtige Ergebnis enthält, zurück, sondern sie benutzen ihre eigenen Konzepte zur Überprüfung und Regulation ihrer Handlungen.

12-5 FOLGERUNGEN

Die Untersuchungsergebnisse unterstreichen die Bedeutung, die dem Praktikum in der physikalischen Ausbildung zukommt. Durch die Durchführung eines Praktikumsversuchs erwerben die Studierenden physikalisches und experimentelles Wissen. Der in Vorlesungen und Übungen gelernte Stoff wird damit ergänzt und erweitert. Die Studierenden lernen Geräte und Versuchsaufbauten, sowie typische physikalische Phänomene kennen, die mit der Praktikumsarbeit illustriert werden. Sie verbringen viel Zeit mit dem Manipulieren von Apparaturen, und sie befassen sich häufig mit Fragen, die die Durchführung von Messungen und das Erzielen gültiger Messergebnisse betreffen. Dies ist ein wichtiger Bestandteil der Vorbereitung auf eine spätere Berufstätigkeit als Physiker.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen aber auch, dass das traditionelle Praktikum die Anwendung und den aktiven Erwerb physikalisch-theoretischen Wissens nur in eingeschränktem Maße fördert. Eine Verbindung von Theorie und Praxis wird, obwohl nach Kapitel 1-2 eines der meistgenannten Ziele von Praktika, nicht erreicht. Mit dem traditionellen Anfängerpraktikum kann daher kaum ein tieferes Verständnis physikalischer Zusammenhänge (*higher levels of scientific understanding*, LUNETTA 1998, 256) bei den Studierenden bewirkt werden.

Gestaltungsmerkmale des Praktikums

Die Untersuchungsergebnisse wurden anhand eines typischen Versuchs des physikalischen Anfängerpraktikums gewonnen. Dieses Praktikum ist an vielen deutschen Universitäten ähnlich organisiert (DIEMER et al. 1998). Folgende Gestaltungsmerkmale sind dabei charakteristisch (vgl. Kap. 6-1):

- Die Studierenden haben eine detaillierte Versuchsanleitung zur Verfügung, in der die relevante physikalische Theorie, die Aufgabenstellung, die Messverfahren, die zu erzielenden Messergebnisse, sowie die zur Erlangung der Messergebnisse benötigten Formeln beschrieben sind.
- Die Praktikumsversuche werden Woche für Woche an einem bestimmten Tag in dafür vorgesehenen Praktikumsräumen durchgeführt. Das Praktikum läuft also mit einer gewissen Routine ab. Die Studierenden haben für die Versuchsdurchführung eine begrenzte Zeit zur Verfügung.

- Die Studierenden werden von wissenschaftlichen Assistenten betreut. Das Wissen der Studierenden zum Themenbereich des Praktikumsexperiments wird vor Beginn der Versuchsdurchführung in einem Kolloquium abgeprüft. Das erfolgreiche Absolvieren des Versuchs ist Voraussetzung, um einen Schein zu erhalten.
- In der Regel erfolgt, außer für Funktionen des Steuern und Regelns, kein Computereinsatz.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie sich Studierende bei der Durchführung eines Praktikumsexperiments mit diesen Gestaltungsmerkmalen verhalten. Es konnten Ursachen des Verhaltens, und damit die Lernmechanismen im Praktikum, beschrieben werden. Umgekehrt geben die Untersuchungsergebnisse auch Hinweise darauf, wie die Bedingungen verändert werden können, um das Physiklernen im Praktikum zu fördern.

Verbesserungsansätze

Die folgenden Ansätze zur Förderung physikalisch-theoriegeleiteten Handelns und aktiven Wissenserwerbs im Praktikum lassen sich aus den Untersuchungsergebnissen ableiten:

(1) Das Einschränken von Handlungsangeboten, die nicht förderlich für physikalisch-theoriegeleitetes Handeln sind.

In der Untersuchung zeigt sich, dass das traditionelle Praktikum hauptsächlich aus dem Aufnehmen von Messwerten und dem Manipulieren von Apparaturen besteht. Im Kontext des traditionellen Praktikums führen diese Tätigkeiten zu einer Handlungsregulation auf einer niedrigen, objektbezogenen Ebene. Wird der Umfang und die Bedeutung dieser Tätigkeiten zugunsten anderer Tätigkeiten, zum Beispiel Modellbildung oder selbstständige Planungstätigkeiten der Studierenden, eingeschränkt, so wird vermieden, dass die Lerner hauptsächlich mit dem Einstellen von Geräten, technischen Problemen und dem „Absitzen“ langwieriger Messreihen beschäftigt sind.

(2) Der Einsatz eines Modellbildungssystems, um ein physikalisches Modell zum Experiment zu erstellen.

Damit werden die Studierenden gezwungen, ihr physikalisch-theoretisches Wissen zur Handlungsregulation zu benutzen. Es ist anzunehmen, dass der gleiche Zweck mit anderen Computerprogrammen zur Modellierung erreicht werden kann. Entscheidend dabei ist, dass die Studierenden nicht nur Parameter, sondern auch die physikalischen Beziehungen des Modells verändern.

(3) Eine gezielte und intensive Betreuung der Praktikumsarbeit.

Auch dies ist eine Maßnahme, mit der die Studierenden durch entsprechende Fragestellungen und Diskussionen gezwungen werden können, auf ihr theoretisches Wissen zurückzugreifen. Bleibt das traditionelle Praktikum in seiner jetzigen Form bestehen, so ist dies nach den Untersuchungsergebnissen der einzige Weg, die Auseinandersetzung mit physikalischer Theorie während der Praktikumsarbeit zu verbessern.

(4) Der Einsatz computergestützter Messwerterfassung, um Messergebnisse im direkten Anschluss an die durchgeführten Messungen zu erhalten und auszuwerten.

So erhalten die Studierenden gleich im Anschluss an die Handlung eine Rückmeldung. Damit diese Maßnahme sinnvoll wird, ist es notwendig, das Praktikum so zu gestalten, dass die Studierenden ohne Zeitdruck Ergebnisse berechnen, mögliche Fehler suchen und diskutieren, und Messungen wiederholen können. Im traditionellen Praktikum ist dies nicht möglich, da Messungen und Auswertungen getrennt voneinander stattfinden. Für das Auslösen von Lernprozessen ist es außerdem vorteilhaft, wenn Diskrepanzen zwischen erwarteten und eintretenden Ereignissen auftreten (z.B. FISCHER 1990). Den Studierenden sollte also die Möglichkeit eingeräumt werden, bei der Handlungsregulation Fehler zu machen. Dies verlangt eine offenere Gestaltung des Praktikums (siehe Punkt 6).

(5) Die Simulation des Praktikumsexperiments vor Durchführung der Messungen.

Damit können die Studierenden ihre Handlungsziele konkretisieren und präzisieren. Dies kann mit einem beliebigen Simulationsprogramm, oder auch mit einem gezielten Gespräch vor Beginn der Messungen, erreicht werden. Ein Modellbildungssystem erscheint aber als besonders geeignet, da die Studierenden hier aktiv an der Erstellung des physikalischen Modells beteiligt sind. Die Studierenden können dann das eigene physikalischen Modell am Experiment überprüfen. Voraussetzung ist allerdings, dass nicht im gleichen Experiment komplizierte und langwierige Messreihen aufgenommen werden, da dann die Gefahr besteht, dass andere Ziele in den Vordergrund rücken (vgl. Punkt 1). Eine Vorwegnahme der Handlungsergebnisse mittels einer Simulation ist außerdem nur sinnvoll, wenn auch überprüft werden kann, ob die erwarteten Ergebnisse erreicht wurden. Daher sollte neben einem Simulationsprogramm auch computergestützte Messwerterfassung eingesetzt werden, um die Messwerte für die Rückmeldung verfügbar zu machen (siehe Punkt 4).

(6) Eine offenere Gestaltung des Praktikums.

Dies ist der grundlegendste und wichtigste Verbesserungsansatz. Die bisher dargestellten Ansatzpunkte hängen zum Teil inhaltlich und organisatorisch miteinander zusammen. Die meisten Maßnahmen machen erst dann Sinn, wenn das Praktikum auch offener gestaltet wird. Konkret bedeutet das, dass die einzelnen Arbeitsschritte nicht mehr ausführlich in der Versuchsanleitung vorgegeben sind.

Die Umfrage von RUICKOLDT (1996; vgl. Kap. 2-3) zeigt, dass dies auch den Wünschen von Studierenden und ehemaligen Studierenden entspricht. Mehr Eigeninitiative und Selbstständigkeit sind die häufigsten Forderungen bezüglich einer Verbesserung des physikalischen Hochschulpraktikums. Im physikalischen Anfängerpraktikum der Universität Dortmund werden bereits einige offenere Versuche angeboten. Es handelt sich um anwendungsorientierte, aktuelle Themen (z.B. „Windenergiekonverter"), zu deren Bearbeitung die Studierenden mehr als einen Nachmittag Zeit haben. Erste Ansätze, das Hochschulpraktikum moderner zu gestalten, entsprechen also den Forderungen, die sich aus den empirischen Befunden ergeben.

Obgleich in der Literatur vielfach gefordert und diskutiert, ist eine offenere Gestaltung des Praktikums die vermutlich am schwierigsten zu realisierende Maßnahme. Dies liegt daran, dass ein Mittelweg gefunden werden muss zwischen einer ausreichenden Anleitung, anhand derer die Studierenden in die Lage versetzt werden, die Handlungen erfolgreich zu organisieren, und einem ausreichenden Grad der Offenheit, der gewährleistet, dass die Lernenden auf ihr eigenes Wissen zurückgreifen und neues Wissen erwerben können (*the dilemma of preordinained science and student autonomy*, OLSEN et al. 1996, vgl. Kap. 4). Gerade im Hochschulpraktikum kann die Lernumgebung auf Grund der anspruchsvollen physikalischen Inhalte und der komplizierten technischen Ausstattung sehr komplex ausfallen. Es besteht dann die Gefahr, dass die Praktikumsarbeit, wie oben beschrieben, hauptsächlich darin besteht, technische Probleme zu lösen. Daher spielt in einem offeneren Praktikum die didaktisch und physikalisch kompetente Betreuung der Studierenden eine wichtige Rolle (vgl. Punkt 3).

Es ist unwahrscheinlich, dass eine Öffnung des Praktikums unter den aktuellen Rahmenbedingungen, das heißt mit Experimenten, die innerhalb von einigen Stunden durchzuführen sind, erfolgreich realisiert werden kann. Vermutlich lässt sich dieses Ziel am ehesten mit projektartigen Experimenten, bei denen die Studierenden auch Planungsaufgaben übernehmen, erreichen (vgl. Punkt 7).

(7) Die Berücksichtigung des Einflusses affektiver Variablen (Motivation, Einstellung, Interesse) bei der Gestaltung des Praktikums.

Wie bereits festgestellt gibt es im Hinblick auf Praktika nur sehr wenige Untersuchungen, die affektive Variablen berücksichtigen. Es gibt daher nur wenige Anhaltspunkte, wie das Praktikum diesbezüglich verbessert werden kann. Nach JOHNSTONE et al. (1996) führen Vorbereitungssitzungen einige Tage vor dem eigentlichen Experimentieren sowohl zu einer positiveren Einstellung von Studierenden zum Praktikum als auch zu besseren Leistungen. NICOL et al. (1994) zeigen, dass kooperatives Lernen in Gruppenarbeit die Motivation der Studierenden verbessern und zur intensiveren Auseinandersetzung mit theoretischen Grundlagen bei der Praktikumsarbeit führen kann. Die Autoren führen dies auf die Verantwortung, die die Studierenden für die Gruppenmitglieder haben, zurück. Nach TOBIN (1990) können außerdem alternative Verfahren zur Bewertung der Praktikumsarbeit zur Transparenz der Ziele des Praktikums, und damit zu einer höheren Motivation der Lernenden beitragen.

Eine offenere Gestaltung des Praktikum scheint auch unter motivationalen Gesichtspunkten große Chancen zu bieten. Zum einen können Projekte mit anwendungsbezogenen, zeitgemäßen Themen durchgeführt werden, die ein authentisches wissenschaftliches Vorgehen ermöglichen (vgl. Kap. 1-2). Zum anderen können die Studierenden vollständige Aufgaben, von der selbstständigen Zielsetzung über Planungsfunktionen bis hin zum Resultatfeedback, bearbeiten. Das Konzept der vollständigen Aufgabe (z.B. SCHULER 1995), Gruppenarbeit, sowie die Möglichkeit, die Ziele der eigenen Handlung selber zu bestimmen, sind Grundlage moderner und erfolgreicher arbeitspsychologischer Ansätze zur Verbesserung der Arbeitsmotivation (KLEINBECK 1996). Eine Anlehnung an solche Methoden könnte sich als fruchtbarer Ansatz zur Gestaltung von Praktika erweisen.

Zum Computereinsatz im Praktikum

Es gibt zwei Argumentationsweisen für einen Computereinsatz im physikalischen Praktikum, auch oder gerade an der Universität. Zum einen ist der Computer, wie oben gezeigt, ein wirkungsvolles Hilfsmittel, um konkrete Verbesserungen der Lernbedingungen im Praktikum umzusetzen. Zum anderen kann ein Computereinsatz zu einem modernen Praktikum beitragen, und somit helfen, die Studierenden besser auf eine spätere Berufstätigkeit vorzubereiten (DIEMER et al. 1998).

Die Umfrage von GIRWIDZ (1994) zeigt, dass ein Computereinsatz im Praktikum seitens der Studierenden erwünscht ist (vgl. Kap. 4-4). Die Reaktionen der Studierenden in der vorliegenden Untersuchung bestätigen dies (Kap. 7-2, 7-5 u. 9-2). Die Untersuchung zeigt außerdem, dass die Studierenden in der Regel die notwendigen Computerkenntnisse besitzen. Auch der Einsatz eines Modellbildungssystems verläuft, selbst bei erstmaliger Benutzung, erfolgreich und problemlos (Kap. 7-4).

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass ein Computereinsatz im Praktikum nicht unbedingt zu einer Veränderung der Handlungsregulation und zu einem verbesserten Wissenserwerb der Studierenden führt. Es genügt hierfür nicht, bestehende Praktikumsexperimente um einzelne Anwendungen des Computers zu ergänzen. Vielmehr empfiehlt es sich, den Computer im Rahmen eines didaktischen Gesamtkonzepts einzusetzen, bei dem die Möglichkeiten des Computers in den Mittelpunkt gestellt werden (z.B. LINN 1998, siehe Kap. 3-1). So kann es am ehesten gelingen, die Vorteile, die der Computer gegenüber einer traditionellen Lernumgebung bietet, zu nutzen. Bei der computergestützten Messwerterfassung empfiehlt es sich dabei, Experimente einzusetzen, die eigens für diesen Einsatz des Computers konzipiert sind bzw. für einen solchen Einsatz besonders geeignet sind. Einen ausführlichen Leitfaden zur Auswahl und Gestaltung solcher Praktikumsversuche liefern z.B. DIEMER et al. 1998. Die einzelnen Experimente müssen untereinander abgestimmt sein, um unterschiedliche Zielsetzungen berücksichtigen zu können. Sollen etwa Rechenverfahren, z. B. Regressionen, kennen gelernt und eingeübt werden, so muss es auch Experimente geben, bei denen der Computer diese Arbeit nicht abnimmt. Somit kann ein Computereinsatz auch Anlass sein, die Ziele des Praktikums oder einzelner Experimente zu überdenken und explizit zu machen.

Zu Zielen des Praktikums

Der größte Teil bisheriger Forschungsergebnisse zum naturwissenschaftlichen Praktikum bezieht sich auf schulische Praktika (vgl. Kap. 2). Eine Diskussion um die Gestaltung des Praktikums muss für Hochschulpraktika jedoch anders geführt werden als für experimentelles Arbeiten auf Schulniveau. Die universitäre Ausbildung soll die Studierenden auf eine berufliche Tätigkeit als Physiker vorbereiten. Daher kommt hier dem Erwerb experimenteller Fähigkeiten und Fertigkeiten („ein Gefühl für die Messung bekommen“), sowie dem Kennenlernen technischer Geräte und Standardverfahren eine große Bedeutung zu.

Dennoch sind in der Regel an die Einrichtung von Praktika auch andere wichtige Ziele geknüpft (siehe Kap. 1-2). Die vorliegende Arbeit zeigt, dass mit der aktuellen Form des physikalischen Anfängerpraktikums das Ziel, eine Verbindung von Theorie und Praxis, sowie durch aktive Anwendung physikalischer Konzepte ein tieferes Verständnis physikalischer Zusammenhänge zu erreichen, nicht oder nur bedingt erreicht wird. Bezüglich der Organisierung des Praktikums ergeben sich daraus zwei Alternativen.

Die erste Möglichkeit ist, von diesem Ziel abzusehen. In diesem Fall beschränkt sich die Gestaltung des Praktikums auf Ziele im experimentellen und methodischen Bereich. Es kann dann, gemäß der gängigen Praxis, sinnvoll sein, das Manipulieren von Geräten und das Durchführen von Messungen in den Mittelpunkt der Praktikumsarbeit zu stellen. Bezüglich physikalischer Inhalte hat das Praktikum dabei nur eine veranschaulichende Funktion. Werden alle Praktikumsexperimente auf gleiche Weise gestaltet, nimmt man allerdings in Kauf, dass, trotz des hohen technischen, finanziellen und organisatorischen Aufwands, die didaktischen Möglichkeiten eines Praktikums nicht ausgeschöpft werden.

Die zweite Möglichkeit ist, am benannten Ziel festzuhalten. Dann muss das Praktikum verändert werden. Die Untersuchungsergebnisse unterstreichen die in der Literatur vertretene Forderung nach Praktika, deren Gestaltung sich eng an den mit ihnen verbundenen Zielen ausrichtet (siehe Kap. 2). Das bedeutet, dass nicht alle Experimente nach einem gleichen organisatorischen und inhaltlichen Schema ablaufen, sondern dass verschiedene Formen des Experimentierens in einem umfassenden Konzept miteinander verbunden werden. Gezielte Veränderungen sind jedoch nur möglich, wenn man weiß, in welcher Form sich bestimmte Maßnahmen auf das Verhalten der Lernenden im Praktikum auswirken.

Yet, we are in the early stages of understanding how teachers can help to promote a student’s conceptual development, and we still have much to learn about how experiences with laboratory materials influence that process (LUNETTA 1998, 260).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung tragen zum Verständnis des Handelns und des Wissenserwerbs Studierender im physikalischen Praktikum bei und liefern eine empirische Grundlage für die Gestaltung von Praktika.

Kapitel 13

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zur empirischen fachdidaktischen Forschung. Sie befasst sich mit der Handlungsregulation und dem Wissenserwerb von Studierenden im physikalischen Anfängerpraktikum der Universität. Empirische Untersuchungen zum Lernen im naturwissenschaftlichen Praktikum wurden bisher nur im englischsprachigen Raum durchgeführt. Es gibt aber zahlreiche Hinweise aus der Literatur, dass naturwissenschaftliche Praktika die mit ihnen verbundenen Ziele nur teilweise erreichen. Die meisten Forschungsergebnisse beziehen sich allerdings auf Untersuchungen in Schulen. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können als Diskussionsgrundlage für eine mögliche Verbesserung der experimentellen Ausbildung auch an der Hochschule dienen. In der Arbeit wird untersucht,

- ob die Studierenden bei der Durchführung eines Versuchs des physikalischen Anfängerpraktikums an der Universität physikalisch-theoretisches Wissen zur Handlungsregulation benutzen, und welche Bedingungen hierfür besonders förderlich oder besonders hemmend sind.
- ob durch die Durchführung eines Versuchs des physikalischen Anfängerpraktikums physikalisches und experimentelles Wissen erworben wird, und wodurch dieses Wissen charakterisiert ist.
- ob der Einsatz des Computers zur Messwerterfassung bzw. zur Modellbildung die Handlungsregulation und den Wissenserwerb im Praktikum beeinflusst.

Theoretische Grundlagen

Die theoretische Basis der Arbeit bilden Ansätze der Kognitionspsychologie und der Handlungstheorie, welche um fachdidaktische Aspekte ergänzt werden. Dabei wird eine konstruktivistische Perspektive eingenommen. Lernen wird als Wissenskonstruktion aufgefasst und durch Angliederung neuer Wissenselemente an bestehende Wissensstrukturen beschrieben. Die Verbindung von physikalischer Theorie und Praxis gelingt dann, wenn die Studierenden ihr Wissen über physikalische Zusammenhänge zur Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit benutzen. Es wird ein Modell kognitiver Komplexität vorgeschlagen, nach dem die Handlungsregulation im Praktikum entsprechend den dabei erbrachten kognitiven Leistungen auf zwei unterschiedlichen Ebenen stattfinden kann: auf der deskriptiven oder der abstrakten kognitiven Ebene. Bei deskriptiven kognitiven Leistungen beziehen sich die handlungsleitenden Kognitionen nur auf Objekte und deren Eigenschaften. Die Handlungsregulation auf der abstrakten kognitiven Ebene entspricht physikalisch-theoriegeleitetem Handeln.

Untersuchungsdesign

Die Untersuchung fand unter den üblichen Praktikumsbedingungen an der Universität Dortmund statt. Es wurden zwei typische Experimente des physikalischen Anfängerpraktikums ausgewählt, die sowohl traditionell (ohne Computer) als auch computerunterstützt durchgeführt werden können. Der größte Teil der Untersuchungsergebnisse wurde anhand des Versuchs „Anharmonische Schwingungen“ gewonnen. Dabei untersuchen die Studierenden mit Hilfe eines Pohlschen Rades das Verhalten von Amplitude und Phase einer anharmonischen Drehschwingung in Abhängigkeit von der Frequenz, und vergleichen die gemessenen Kurven mit theoretisch ermittelten Kurven.

Für die Durchführung der beiden ausgewählten Praktikumsexperimente wurden 18 Versuchspersonen (Studierende im dritten Semester des Physikstudiums) auf drei Lernumgebungen verteilt. Die Lernumgebungen unterscheiden sich nur hinsichtlich des Computereinsatzes. Für die Versuchspersonen der ersten Gruppe wurden keinerlei Änderungen am üblichen Aufbau und Ablauf der ausgewählten Versuche vorgenommen (traditionelles Praktikum). Die Versuchspersonen der zweiten Gruppe benutzen bei der Versuchsdurchführung ein System zur computergestützten Messwerterfassung. Die Versuchspersonen der dritten Gruppe benutzen bei der Versuchsdurchführung zusätzlich zur Messwerterfassung ein Modellbildungssystem. Sie erarbeiten ein physikalisches Modell zum jeweiligen Experiment, simulieren die physikalischen Abläufe und vergleichen die Ergebnisse der Simulation mit ihren Messergebnissen.

Hypothesen

Die folgenden Hypothesen zur Handlungsregulation und zum Wissenserwerb im Praktikum werden in dieser Arbeit überprüft. Sie stützen sich auf theoretische Überlegungen und auf bisherige Forschungsergebnisse zum Lernen und zum Computereinsatz im Praktikum:

(1) Die im Praktikum bei der Handlungsregulation erbrachten kognitiven Leistungen der Studierenden hängen von der Art der Lernumgebung ab:

- *(a)* Im traditionellen Praktikum findet die Handlungsregulation bezüglich physikalischer Inhalte auf der deskriptiven kognitiven Ebene statt.
- *(b)* Im computergestützten Praktikum findet die Handlungsregulation häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt als im traditionellen Praktikum.
- *(c)* Wird zusätzlich zur Messwerterfassung ein Modellbildungssystem eingesetzt, findet die Handlungsregulation häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene statt als beim Einsatz des Computers nur zur Messwerterfassung.

(2) Mit der Durchführung eines Praktikumsexperiments erwerben die Studierenden physikalisches und experimentelles Wissen. Der Umfang des erworbenen Wissens (der Wissenszuwachs) hängt von der Art der Lernumgebung ab:

(a) Studierende im computergestützten Praktikum haben einen höheren Wissenszuwachs als Studierende im traditionellen Praktikum.

(b) Der Einsatz eines Modellbildungssystems im Praktikum führt zu einem höheren Wissenszuwachs der Studierenden als der Einsatz des Computers nur zur Messwerterfassung.

Die in dieser Arbeit eingesetzten Methoden erlauben es ferner, über die Überprüfung dieser Hypothesen hinaus Ergebnisse zu erhalten, die zu einem besseren Verständnis der Wechselwirkung zwischen Lernumgebung, Handlung und Wissenserwerb der Studierenden beitragen.

Methodik

Es wurden zwei Instrumente zur Datenerhebung eingesetzt. Als Wissenstest wurden vor und nach dem jeweiligen Experiment Begriffsnetze, verbunden mit offenen Interviews, eingesetzt. Die Begriffsnetze sind an den Untersuchungsgegenstand angepasst und enthalten daher sowohl physikalisch-theoretische Begriffe als auch Begriffe zu Messverfahren und zum Versuchsaufbau. Für die Analyse der Handlungen bei der Versuchsdurchführung wurden die Studierenden während ihrer Praktikumsarbeit per Video beobachtet. Die Auswertemethodik wurde so konzipiert, dass die Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit mit ihrem Wissenserwerb in Zusammenhang gebracht werden kann.

Die Videodaten werden einer kategoriegeleiteten Analyse unterzogen. Dabei kommen zwei Klassen von Kategorien zum Einsatz, die im Zeitverlauf den Handlungen der Studierenden zugeordnet werden. Die erste Klasse von Kategorien (aus den Daten selbst abgeleitet) dient der Erfassung der verschiedenen Tätigkeiten der Studierenden während der Praktikumsarbeit (*Messen*, *Manipulieren*, *Datenauswertung*, etc.). Damit können Aussagen darüber getroffen werden, wie viel Zeit auf die verschiedenen Tätigkeiten im Praktikum verwandt wird, und worin sich diesbezüglich die verschiedenen Lernumgebungen unterscheiden. Die zweite Klasse von Kategorien (aus theoretischen Überlegungen abgeleitet) dient der Erfassung der Sprechhandlungen der Studierenden während der Praktikumsarbeit (*objektbezogen*, *messbezogen*, *physikbezogen*, etc.). Damit können Aussagen darüber getroffen werden, mit welchen Inhaltsbereichen (Messung oder Physik) sich die Studierenden während der Praktikumsarbeit vorwiegend auseinandersetzen und ob physikalisch-theoretische Konzepte bei der Handlungsregulation zum Einsatz kommen. Durch die Verknüpfung beider Kategoriensysteme anhand des Zeitverlaufs können Aussagen darüber getroffen werden, welche Tätigkeiten im Praktikum besonders förderlich oder besonders hemmend für die Auseinandersetzung mit bestimmten Inhalten sind.

Anhand der Begriffsnetze wird das Wissen der Studierenden vor und nach der Durchführung des Praktikumsexperiments untersucht. Im Inhalt des dargestellten Wissens als auch in der Art der Wissensdarstellung gibt es große Unterschiede zwischen den Versuchspersonen. Für den Vergleich der Begriffsnetze untereinander wird daher ein Referenznetz erstellt. Die Verbindungen des Referenznetzes werden kategorisiert. Dabei werden die gleichen Kategorien benutzt wie bei der Analyse der Videodaten. Innerhalb einer Kategorie wird die Zahl der Propositionen der Versuchspersonen miteinander verglichen und mit den entsprechenden Ergebnissen bezüglich der Handlungsregulation während der Praktikumsarbeit in Verbindung gebracht.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Videoanalyse wurden varianzanalytisch auf Unterschiede zwischen den drei Vpn-Gruppen hin untersucht.

- Hypothese (1a) konnte bestätigt werden: Im traditionellen Praktikum regulieren die Studierenden die Handlung bezüglich physikalischer Inhalte auf der deskriptiven kognitiven Ebene.

In etwa 80% der Praktikumszeit haben die handlungsleitenden Kognitionen der Studierenden keinen Bezug zu physikalischen Konzepten. Eine Auseinandersetzung mit physikalischer Theorie findet während der Praktikumsarbeit praktisch nicht statt. Die Analyse von Videoaufzeichnungen der Versuchsauswertung brachte vergleichbare Ergebnisse. Das traditionelle physikalische Anfängerpraktikum stellt demnach keine Lernumgebung dar, die für die Anwendung und den aktiven Erwerb physikalisch-theoretischen Wissens besonders geeignet ist.

Im Mittelpunkt der Praktikumsarbeit steht das Aufnehmen von Messwerten und das erzielen gültiger Messergebnisse. Die Gestaltung des Praktikums lässt den Studierenden dabei nur sehr wenig Handlungsspielraum. Die Studierenden führen sehr viele manipulative Tätigkeiten und Routinetätigkeiten durch, bei denen eine Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten nicht notwendig ist. Im traditionellen Praktikum gibt es nur eine Tätigkeit, die förderlich für die Beschäftigung mit physikalischer Theorie ist: die Interaktion mit dem Versuchsbetreuer. Bleibt die aktuelle Form des Praktikums bestehen, ist demnach eine intensive und gezielte Betreuung die einzige Möglichkeit, das Praktikum im Hinblick auf die Anwendung physikalischen Wissens beim Experimentieren zu verbessern.

- Hypothese (1b) musste verworfen werden: Es konnte nicht gezeigt werden, dass durch den Einsatz des Computers zur Messwerterfassung die Handlungsregulation der Studierenden häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene (physikalisch-theoriegeleitet) stattfindet als im traditionellen Praktikum.

Nach den Untersuchungsergebnissen liegt der Hauptvorteil computergestützter Messwerterfassung in der Möglichkeit, Auswertungen direkt im Anschluss an die Messung durchzuführen. Die Studierenden erhalten so eine Rückmeldung über den Erfolg ihrer Handlungen. Dies kann zur selbstständigen Entdeckung von Messfehlern, und zur Diskussion und Suche von Fehlerquellen führen. Ein solcher Einsatz des Computers macht aber nur Sinn, wenn den Studierenden auch Gelegenheit eingeräumt wird, Fehler zu machen, sowie diese ohne Zeitdruck zu suchen und zu korrigieren. Dies spricht für eine offenere Gestaltung des Praktikums.

- Hypothese (1c) konnte bestätigt werden: Studierende, die mit dem Modellbildungssystem arbeiten, regulieren ihre Handlungen häufiger auf der abstrakten kognitiven Ebene (physikalisch-theoriegeleitet) als die anderen Studierenden.

  Der Einsatz eines Modellbildungssystems erweist sich demnach als wirkungsvolles Mittel zur Förderung theoriegeleiteten Handelns während der Praktikumsarbeit. Die genaue Untersuchung zeigt allerdings, dass dabei die Modellerstellung die einzige Tätigkeit ist, die theoriegeleitetes Handeln in deutlicher Weise fördert. Die Durchführung von Simulationen bringt dagegen diesbezüglich keine unmittelbaren Vorteile.

Zur Überprüfung von Hypothese (2) wurden die Verbindungszahlen der Begriffsnetze mittels einer Varianzanalyse auf Unterschiede nach der Durchführung des Versuchs im Vergleich zu vor dem Versuch, sowie auf einen Einfluss der Art der Lernumgebung hin untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Studierenden durch die Durchführung des Praktikumsexperiments physikalisches und experimentelles Wissen erwerben.

- Die Hypothesen (2a) und (2b) mussten jedoch verworfen werden: Die Art der Lernumgebung hat keinen Einfluss auf den Umfang und die Art des erworbenen Wissens.

  Eine qualitative Analyse der Begriffsnetze bringt Hinweise auf die Ursachen dieses Ergebnisses. Offenbar sind die Rahmenbedingungen des traditionellen Praktikums so bestimmend, dass der Computereinsatz den Wissenserwerb der Studierenden nicht nachweislich beeinflusst. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass ein bedeutender Teil des mit der Durchführung des Praktikumsexperiments erworbenen Wissens nicht durch die Praktikumsarbeit, sondern durch die Beschäftigung mit der Versuchsanleitung erworben wird. Die Versuchsanleitung ist für die Studierenden in der Regel die einzige Quelle für die Vorbereitung auf das Praktikumsexperiment. Beim Experimentieren werden solche Wissenselemente erworben, die von der Versuchsanleitung nicht oder nicht genau beschrieben werden. Es konnte ferner beobachtet werden, dass die Studierenden Formulierungen aus der Versuchsanleitung übernehmen, ohne die physikalische Bedeutung verstanden zu haben. Daher besteht die Gefahr, dass durch das Praktikum Alltagsvorstellungen überdauern oder gefestigt werden. Die Versuchsanleitung bestimmt also nicht nur die Handlungen während der Praktikumsarbeit, sondern ihr kommt auch bezüglich des Wissenserwerbs im Praktikum eine bedeutende Rolle zu.

Es kann kein direkter Zusammenhang zwischen Art und Umfang des erworbenen Wissens und der Handlungsregulation der Studierenden während der Praktikumsarbeit nachgewiesen werden. Demnach gibt es Lernmechanismen, die von der Praktikumsarbeit unabhängig sind. Die Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass neben den kognitiven Voraussetzungen der Studierenden affektive Variablen wie Einstellung, Interesse oder Motivation eine Rolle beim Lernen im Praktikum spielen. Offenbar bereiten sich manche Studierenden intensiver auf das Praktikumsexperiment vor, zeigen während der Praktikumsarbeit mehr Engagement und erwerben mehr Wissen als andere Studierende. Allerdings können auch Studierende, die wenig Engagement zeigen, das Praktikum erfolgreich absolvieren, da die Versuchsanleitung alle hierzu notwendigen Informationen liefert und jederzeit auf sie zurückgegriffen werden kann.

Folgerungen

Eines der meistgenannten Ziele physikalischer Praktika ist die Anwendung physikalischer Konzepte und der aktive Erwerb physikalisch-theoretischen Wissens beim Experimentieren. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass dieses Ziel mit dem traditionell gestalteten Anfängerpraktikum kaum erreicht wird. Die Rahmenbedingungen des traditionellen Praktikums sind außerdem so bestimmend, dass in diesem Kontext der Einsatz des Computers kaum Auswirkungen auf die Handlungsregulation und den Wissenserwerb der Studierenden hat.

Aus den Untersuchungsergebnissen können Verbesserungsansätze zur Förderung theoriegeleiteten Handelns und aktiven Wissenserwerbs im physikalischen Praktikum abgeleitet werden (siehe Kapitel 12, S. 140). Die wichtigste Forderung, die sich dabei ergibt, ist die nach einer offeneren Gestaltung der Lernumgebung, bei der nicht alle Arbeitsschritte in der Anleitung vorgegeben sind. Nur in einem solchen Zusammenhang machen weitere Verbesserungen Sinn. Dabei können auch die Vorteile, die der Computer gegenüber einer traditionellen Lernumgebung bietet, besser genutzt werden.

Die Frage der Gestaltung physikalischer Praktika ist eng mit einer Diskussion der Ziele des Praktikums verbunden. In der experimentellen Ausbildung an der Universität spielen Ziele, die sich nicht auf die physikalische Kompetenz, sondern auf die experimentellen Kenntnisse und Fertigkeiten der Studierenden beziehen, eine bedeutende Rolle. Diesbezüglich ist das Anfängerpraktikum auch in der bestehenden Form ein wichtiger Bestandteil des Physikstudiums. Wie die Untersuchungsergebnisse zeigen, nutzen motivierte und engagierte Studierende das Praktikum auch, um ihre physikalisch-theoretische Wissensbasis zu erweitern. Indem alle Praktikumsversuche auf gleiche Weise gestaltet sind, wird jedoch möglicherweise die Chance, mit dem Praktikum mehr Lernende sowie ein breiteres Spektrum an didaktischen Zielen zu erreichen, verschenkt.

Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung werfen neue Fragen auf und zeigen Ansatzpunkte für weiterführende Untersuchungen.

Zum einen bedarf es mehr und genauerer Forschungen darüber, welche Faktoren den Wissenserwerb im Praktikum beeinflussen und welche Rolle affektive Variablen wie Einstellung, Interesse oder Motivation dabei spielen. Bisherige Untersuchungen geben darüber nur wenig Aufschluss. Auf Hochschulebene liegen diesbezüglich keine Erkenntnisse vor.

Zum anderen bedarf es empirischer Untersuchungen, aus denen sich Kriterien für die Gestaltung offener experimenteller Lernumgebungen ableiten lassen. Angesichts des zunehmenden Einsatzes neuer Technologien in der naturwissenschaftlichen Ausbildung ist insbesondere die Frage, wie der Computereinsatz zur Realisierung solcher

Lernumgebungen beitragen kann, von Bedeutung. Die Notwendigkeit offener Lernumgebungen ergibt sich nicht nur aus der vorliegenden, auf das physikalische Anfängerpraktikum bezogenen Arbeit, sondern entspricht Forderungen, die sich aus konstruktivistischen Ansätzen zur Gestaltung naturwissenschaftlichen Unterrichts ableiten lassen. Zur konkreten Umsetzung dieser Forderungen gibt es bisher jedoch nur wenige empirische Befunde. Daher besteht die Gefahr, dass im Praktikum Neuerungen eingeführt werden, ohne die damit verbundenen Absichten zu erreichen. Die vorliegende Arbeit liefert ein Beispiel dafür, wie empirische fachdidaktische Forschung helfen kann, Fehlentwicklungen zu vermeiden und die praktische naturwissenschaftliche Ausbildung effizienter zu gestalten.

LITERATURVERZEICHNIS

AAPT (American Association of Physics Teachers) (1998). Goals of the introductory physics laboratory. *American Journal of Physics, 66(6), 483-485.*

ACTON, W.H., JOHNSON, P.J. & GOLDSMITH, T.E. (1994). Structural knowledge assessment: Comparison of referent structures. *Journal of Educational Psychology, 86, 303-311.*

ARBINGER, R. (1991). Wissensdiagnostik. *In INGENKAMP, K. & JÄGER, R.S. (Hrsg.): Jahrbuch der Pädagogischen Diagnostik. Weinheim: Beltz, 80-108.*

ASENDORPF, J. & WALLBOTT, H.G. (1979). Maße der Beobachterübereinstimmung: Ein systematischer Vergleich. *Zeitschrift für Sozialpsychologie, 10, 243-252.*

BAGOTT, L. (1998). Multimedia simulation - A threat or enhancement of practical work in science education? *In WELLINGTON, J. (Editor): Practical work in school science - Which way now? London: Routledge, 252-270.*

BARTON, R. (1998). IT in practical work. *In WELLINGTON, J. (Editor): Practical work in school science - Which way now? London: Routledge.*

BAUERSFELD, H. (1983). Subjektive Erfahrungsbereiche als Grundlage einer Interaktionstheorie des Mathematiklernens und -lehrens. *In: Untersuchungen zum Mathematik- unterricht. Köln: Aulis Verlag.*

BÉCU-ROBINAULT, K. (1997). Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques. *Dissertation, Université Claude Bernard Lyon I.*

BEHRENDT, H. (1997). Physiklernen und Begriffsnetze. *In: BEHRENDT, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach: Leuchtturm Verlag, 299-301.*

BIANCHINI, J.A. (1997). Where knowledge construction, equity, and context intersect: Student learning of science in small groups. *Journal of Research in Science Teaching, 34(10), 1039-1065.*

BLISS, J. (1996). Piaget und Vygotsky: Ihre Bedeutung für das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 2(3), 3-16.*

BLK (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung) (1997). Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. *Heft 60; Bonn: BLK-Geschäftsstelle (blk@blk.bn.shuttle.de).*

BONATO, M. (1990). Wissensstrukturierung mittels Struktur-Lege-Techniken. *Frankfurt: Lang.*

BORTZ, J. (1985). Lehrbuch der Statistik. *Berlin: Springer.*

BOS, W. (1989). Reliabilität und Validität in der Inhaltsanalyse. Ein Beispiel zur Kategorienoptimierung in der Analyse chinesischer Textbücher für den muttersprachlichen Unterricht von Auslandschinesen. *In BOS, W. & TARNAI, Ch. (Hrsg.): Angewandte Inhaltsanalyse in Empirischer Pädagogik und Psychologie. New York: Waxmann, 1-13.*

BOUD, D.J., DUNN, J., KENNEDY, T. & THORLEY, R. (1980). The aims of science laboratory courses: A survey of students, graduates and practising scientists. *European Journal of Science Education, 2(4), 415-428.*

BOUD, D.J., DUNN, J. & HEGARTY-HAZEL, E. (1988). Teaching in laboratories. *Guildford: Society for Research into Higher Education.*

BRASELL, H. (1987). The effect of real-time laboratory graphing on learning graphic representations of distance and velocity. *Journal of Research in Science Teaching, 24(4), 385-395.*

BREUER, E. (1994). Zur Orientierung individueller Entwicklungen im Physikunterricht durch Erfahrungen. *Dissertation, Universität Bremen (Fachbereich Physik).*

CHAMPAGNE, A.B., GUNSTONE, R.F. & KLOPFER, L.E. (1985). Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena. *In WEST, L.H.T. & PINES, A.L. (Editors): Cognitive structure and conceptual change. New York: Academic Press.*

CLOUGH, M.P. & CLARK, R. (1994). Cookbooks and constructivism - A better approach to laboratory activities. *The Science Teacher, 61 (2), 34-37.*

COHEN, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement, XX(1), 37-46.*

CRANACH, M. v., KALBERMATTEN, U., INDERMÜHLE & K. GUGLER, B. (1980). Zielgerichtetes Handeln. *Bern: Huber.*

DERRY, S.J. (1996). Cognitive schema theory in the constructivist debate. *Educational Psychologist, 31(3/4), 163-174.*

DIEMER, U., BASER, B. & JODL, H.J. (1998). Computer im Praktikum. *Heidelberg: Springer.*

DOERR, H.M. (1996). STELLA ten years later: A review of the literature. *International Journal of Computers in Mathematical Learning, 1, 201-224.*

DOERR, H.M. (1997). Experiment, simulation and analysis: An integrated instructional approach to the concept of force. *International Journal of Science Education, 19(3), 265-282.*

DÖRNER, D. (1993). Wissen, Emotionen und Handlungsregulation oder die Vernunft der Gefühle. *Zeitschrift für Psychologie, 2, 167-202.*

DRIVER, R. (1995). Constructivist approaches to science teaching. *In STEFFE, L.P. & GALE, J. (Editors): Constructivism in Education. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 385-400.*

DRIVER, R. & NEWTON, P. (1997). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Proceedings of the First ESERA-Conference "Science Education Research in Europe", Rom, August 1997.*

DUIT, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik, 41(6), 905-923.*

FEYNMAN, R. (1980). La nature de la physique. *Editeur du Seuil.*

FINKE, S. (1992). Versuchsanleitungen zum Anfänger-Praktikum in Physik. *Dortmund: Wulff.*

FISCHER, H.E. (1990). Konstruktivismus und Didaktik der Physik. *Physica Didactica, 17(4), 33-65.*

FISCHER, H.E. (1994). Physiklernen: Eine Herausforderung für Unterrichtsforschung. *In NACHTIGALL, D. (Hrsg.): Didaktik und Naturwissenschaften, Band 3. Frankfurt: Lang.*

FISCHER, H.E. (1998). Scientific Literacy und Physiklernen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4(2), 41-52.*

FISCHER, H.E. & HORSTENDAHL, M. (1998). Motivation and learning physics. *Research and Science Education, 27(3), 411ff.*

FLICK, U. (1995). Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften. *Reinbek: Rowohlt.*

FREEDMAN, M.P. (1997). Relationship among laboratory instruction, attitude toward science, and achievement in science knowledge. *Journal of Research in Science Teaching, 34(4), 343-357.*

FRIEDLER, Y., NACHMIAS, R. & LINN, M.C. (1990). Learning scientific reasoning skills in MBLs. *Journal of Research in Science Teaching, 27, 173-192.*

FUHRMANN, M., LUNETTA, V.N. & NOVICK, S. (1982). Do secondary school laboratory texts reflect the goals of the "new science curricula"? *Journal of Chemical Education, 59, 563-565.*

GALLAGHER, J.J. & TOBIN, K. (1987). Teacher management and student engagement in high school science. *Science Education, 71, 535-555.*

GEE, B. & CLACKSON, S. (1992). The origin of practical work in the English school science curriculum. *School Science Review, 73(265), 79-83.*

GERDES, J. & SCHECKER, H. (1997). Physiklernen mit Modellbildungssystemen. *In BEHRENDT, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach: Leuchtturm Verlag, 227-229.*

GERMANN, P.J., HASKINS, S. & AULS, S. (1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching. 33(5), 475-499.*

GERULL, K. (1998). Theorie und Auswertung von Begriffsnetzen zur Einschätzung kognitiver Leistungen Studierender im Anfängerpraktikum der Physik. *Staatsexamensarbeit am Fachbereich 2 (Physik) der Universität Dortmund.*

GILBERT, J.K. & BOULTER, C.J. (1998). Learning science through models and modelling. *In FRASER, B. J. & TOBIN, K. G. (Editors): International Handbook of Science Education, Dordrecht: Kluwer, 53-66.*

GIRWIDZ, R. (1994). Computer und Physik: Eine Befragung von Physik-Studienanfängern an der Universität Würzburg (November 90-92). *Physik und Didaktik, 3, 205ff.*

GLASERSFELD, E. v. (1997). Wege des Wissens - Konstruktivistische Erkundungen durch unser Denken. *Heidelberg: Carl Auer Verlag.*

GOTT, R. & DUGGAN, S. (1996). Practical work: Its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education, 18(7), 791-806.*

GUILLON, A. (1995). Démarches scientifiques en Travaux Pratiques de physique de DEUG à l'Université Cergy Pontoise. *Didaskalia, 7, 113-127.*

GUNSTONE, R.F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. *In WOOLNOUGH, B. (ed.): Practical Science. Milton Keynes: Open University Press.*

HACKER, W. (1986). Allgemeine Arbeits- und Ingenieurpsychologie. *Bern: Huber.*

HALLER, K. (1999). Über den Zusammenhang von Handlung und Zielen - Eine empirische Untersuchung zu Lernprozessen im physikalischen Praktikum. *Dissertation am Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen.*

HASEMANN, K. & MANSFIELD, H. (1995). Concept mapping in research on mathematical knowledge development: Background, methods, findings and conclusions. *Educational Studies in Mathematics, 29(1), 45-72.*

HEGARTY-HAZEL, E. (1990) (Editor). The student laboratory and the science curriculum. *London: Routledge.*

HELLINGMANN, C. (1982). A trial list of objectives of experimental work in science education. *European Journal of Science Education, 4, 29-43.*

HELMS, J.V. (1998). Science and/in the community: Context and goals in practical work. *International Journal of Science Education, 20(6), 643-653.*

HIGH PERFORMANCE SYSTEMS (1994). STELLA II, Version 3.0.5 for Windows. *Hannover, NH: High Performance Systems (http://www.hps.com).*

HODSON, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review, 70(256), 33-40.*

HODSON, D. (1998a). Is this really what scientists do? *In WELLINGTON, J. (Editor): Practical work in school science - Which way now? London: Routledge.*

HODSON, D. (1998b). Mini-Special Issue: Taking practical work beyond the laboratory. *International Journal of Science Education, 20(6), 629-632.*

HOFSTEIN, A. & LUNETTA, V.N. (1982). The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research. *Review of Educational Research, 52, 201-217.*

HORSTENDAHL, M. (1999). Motivationale Orientierungen im Physikunterricht. *Dissertation am Fachbereich 2 (Physik) der Universität Dortmund.*

HORTON, R.E. (1929). Measured outcomes of lab instruction. *Science Education, 5, 292-295.*

HUBER, G.L. & MANDL, H. (1982). Verbale Daten. *Weinheim: Beltz.*

JODL, H.J . & BASER, B. (1996). Use of computers in problem solving and in students laboratory. *In OBLAK, S. et al. (Editors): New Ways of Teaching Physics - Proceedings of the GIREP-ICPE International Conference, Ljubljana, 1996. Board of Education of Slovenia.*

JOHNSTONE, A.H., WATT, A. & ZAMAN, T.U. (1998). The students' attitude and cognition change to a physics laboratory. *Physics Education, 22–28.*

JONASSEN, D.H. & GRABOWSKI, B.L. (1993). Handbook of individual differences: Learning & instruction. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.*

JONASSEN, D.H., BEISSNER, K., & YACCI, M.A. (1993). Structural knowledge: Techniques for conveying, assessing and acquiring structural knowledge. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.*

KELLY, G.J. & CRAWFORD, T. (1996). Students' interaction with computer representations: Analysis of discourse in laboratory groups. *Journal of Research in Science Teaching, 33 (7), 693-707.*

KERR, J.F. (1963). Practical work in school science. *Leicester University Press.*

KIRSCHNER, P. & HUISMAN, W. (1998). 'Dry laboratories' in science education - Computer-based practical work. *International Journal of Science Education, 20(6), 665-682.*

KLAHR, D. & DUNBAR, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science, 12, 1-48.*

KLEINBECK, U. (1996). Arbeitsmotivation - Entstehung, Wirkung und Förderung. *Weinheim: Juventa.*

KLOPFER, L.E. (1971). Evaluation of learning in science. *In BLOOM, B. S. et al.: The handbook of formative and summative evaluation of student learning. New York: McGraw-Hill.*

KOZMA, R.B. (1991). Learning with media. *Review of Educational Research, 61, 179-211.*

KUHN, T.S. (1959). Energy conservation as an example of simultaneous discovery. *In CLAGETT, M. (Editor): Critical problems in the history of science. Madison.*

KYLE, W.C., PENICK, J.E. & SHYMANSKY, J.A. (1979). Assessing and analyzing the performance of students in college science laboratories. *Journal of Research in Science Teaching, 16, 545-551.*

LAWLESS, C. (1994). Investigating the cognitive structure of students studying quantum theory in an open university history of science course: A pilot study. *British Journal of Educational Technology, 25(3), 198-216.*

LAZAROWITZ, R. & TAMIR, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. *In GABEL, D. L. (Editor): Handbook of Research on Science Teaching and Learning. New York: Macmillan.*

LEYBOLD (1994). CASSY, Version 2.13, Universelle Messwerterfassung. *Hürth: Leybold Didactic GmbH (http://www.lh.de).*

LINN, M.C., LAYMAN, J. & NACHMIAS, R. (1987). The cognitive consequences of micro-computer-based laboraties: Graphing skills development. *Journal of Contemporary Educational Psychology, 12, 244-253.*

LINN, M.C. (1998). The impact of technology on science instruction: Historical trends and current opportunities. *In FRASER, B. J. & TOBIN, K. G. (1998) (Editors): International Handbook of Science Education. Dordrecht: Kluwer, 265-294.*

LUMPE, A.T. & SCHARMANN, L.C. (1991). Meeting contemporary goals for lab instruction: A content analysis of two secondary biology textbooks. *School Science and Mathematics, 91, 231-235.*

LUNETTA, V.N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. *In FRASER, B. J. & TOBIN, K. G. (Editors): International Handbook of Science Education, Dordrecht: Kluwer, S. 249-264.*

MANDL, H. & HRON, A. (1989). Psychologische Aspekte des Lernens mit dem Computer. *Zeitschrift für Pädagogik, 35(5), 657-678.*

MANDL, H. & REINMANN-ROTHMEIER, G. (1995). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. *Forschungsbericht Nr. 60, Ludwig-Maximilians-Universität München, Institut für Pädagogische Psychologie und Empirische Pädagogik.*

MANDL, H. (1996). Wissen und Handeln: Eine theoretische Standortbestimmung. *In MANDL, H. (Hrsg.): Bericht über den 40. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in München 1996. Göttingen: Hogrefe.*

MARKHAM, K.M., MINTZES, J.J. & JONES, M.G. (1994). The concept map as a research and evaluation tool: Further evidence of validity. *Journal of Research in Science Teaching, 31(1), 91-101.*

MAYRING, P. (1997). Qualitative Inhaltsanalyse. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.

MCCLURE, J.R. & BELL, P.E. (1990). Effects of an environmental education-related STS approach instruction on cognitive structures of preservice science teachers. *University Park, PA: Pennsylvania State University. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 341 582).*

MERRILL, M.D. (1991). Constructivism and Instructional Design. *Educational Technology, 31(5), 45-53.*

MICROCAL (1995). ORIGIN™, Version 4.0. *Northhampton, MA: Microcal Software Inc. (http://www.microcal.com).*

MILLAR, R., LUBBEN, F., GOTT, R. & DUGGAN, S. (1994). Investigating in the school science laboratory: Conceptual and procedural knowledge and their influence on performance. *Research Papers in Education, 9(2), 207-248.*

MOAR, M., SPENSLEY, F., O'SHEA, T., SINGER, R., HENNESSY, S. & SCANLON, E. (1992). Two uses of computers in science teaching: Horizontal motion and simulation building. *In DE CORTE, E. et al. (Editors): Computer-based learning environments and problem solving. Berlin: Springer, 429-443.*

MOKROS, J.R. & TINKER, R.F. (1987). The impact of microcomputer-based labs on childrens ability to interpret graphs. *Journal of Research in Science Teaching, 24(4), 369-383.*

NAKHLEH, M.B. & KRAJCIK, J.S. (1994). The influence of levels of information as presented by different technology on students' understanding of acid, base, and pH concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 31, 1077-1096.*

NAKHLEH, M.B. (1994). Chemical education research in the laboratory environment: How can research uncover what students are learning. *Journal of Chemical Education, 71(3), 201ff.*

NICOL, D.J., KANE, K.A. & WAINWRIGHT, C.L. (1994). Improving laboratory learning through group working and structured reflection and discussion. *Educational and Training Technology International, Vol. 31(4), 302-310.*

NIEDDERER, H., SCHECKER, H. & BETHGE, T. (1991). The role of computer-aided modelling in learning physics. *Journal of Computer Assisted Learning, 7, 84-95.*

NIEDDERER, H., BUTY, C., HALLER, K., HUCKE, L. & SANDER, S. (1999). Eine Methode zur Analyse von Videobändern. *In BRECHEL, R. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach: Leuchtturm Verlag, 278-280.*

NOTT, M. (1997). Keeping scientists in their place: A historical perspective on the introduction of the laboratory into school science education. *School Science Review, 78(285), 49–60.*

NOVAK, J.D. & GOWIN, D.B. (1984). Learning how to learn. *New York: Cambridge University Press.*

NOVAK, J.D. (1990). Concept Mapping: A useful tool for Science Education. *Journal of Research in Science Teaching, 27(10), 937-949.*

O'BRIEN, R. & KAISER, M.K. (1985). MANOVA method for analyzing repeated measure designs: An extensive primer. *Psychological Bulletin, 97(2), 316-333.*

OBERAUER, K. (1993). Prozedurales und deklaratives Wissen und das Paradigma der Informationsverarbeitung. *Sprache & Kognition, 12(1), 30-43.*

OGUNNIYI, M.B. (1983). An analysis of laboratory activities in selected Nigerian secondary schools. *European Journal of Science Education, 5(2), 195-201.*

OKEBUKOLA, P.A. (1985). Science laboratory behaviour strategies of students relative to performance in and attitude to laboratory work. *Journal of Research in Science Education, 22(3), 221-232.*

OLSEN, T.P., HEWSON, P.W. & LYONS , L. (1996). Preordained science and student autonomy: The nature of laboratory tasks in physics classrooms. *International Journal of Science Education, 18(7), 775–790.*

OPWIS, K. (1988). Produktionssysteme. *In MANDL, H. & SPADA, H. (Hrsg.): Wissenspsychologie. München, Weinheim: Psychologie Verlagsunion, 359-385.*

OSBORNE, J. (1993). Alternatives to practical work. *School Science Review, 76(276), 117-123.*

OSBORNE, J. (1998). Science education without a laboratory? *In WELLINGTON, J. (Editor): Practical work in school science - Which way now? London: Routledge, 156-173.*

PIAGET, J. (1976). Die Äquilibration der kognitiven Strukturen. *Stuttgart: Klett.*

PICKERING, M. (1980). Are lab courses a waste of time? *Chronicle of Higher Education, 19, 44-50.*

PRESTON, D.W. & GOOD, R.H. (1996). Computers in the general physics laboratory. *American Journal of Physics, 64(6), 766-772.*

RASMUSSEN, J. (1986). Information processing and human-maschine interaction. *An approach to cognitive engineering. Amsterdam: North-Holland.*

REDISH, E.F., SAUL, J.M. & STEINBERG, R.N. (1997). On the effectiveness of active engagement microcomputer-based laboratories. *American Journal of Physics, Vol. 65(1), 45-54.*

ROLF, R. & FISCHER, H.E. (1996). Der Einfluss unterschiedlich offener Lern-umgebungen auf die Lernentwicklung. *In BEHRENDT, H. (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach: Leuchtturm Verlag, 278-280.*

ROTH, W.-M. (1994). Experimenting in a constructivist high school laboratory. *Journal of Research in Science Teaching, 31(2), 197-223.*

ROTH, W.-M., MCROBBIE, C.J., LUCAS, K.B. & BOUTONNÉ, S. (1997). The local production of order in traditional science laboratories: A phenomenological analysis. *Learning and Instruction, 7(2), 107-136.*

RUICKOLDT, G. (1996). Ergebnisse einer Umfrage zum physikalischen Praktikum. *Physikalische Blätter, 52(10), 1022-1024.*

RUIZ-PRIMO, M.A. & SHAVELSON, R.J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching, 33 (6), 569-600.*

RUMELHART, D.E. & NORMAN, D.A. (1978). Accretion, tuning and restructuring: Three modes of learning. *In COTTON, J. W. & KLATZKY, R. (Editors): Semantic factors in cognition. Hillsdale: Erlbaum.*

SANDER, F. (1999, im Druck). Handeln und Lernen im Praktikum. *Dissertation am Fachbereich 1 (Physik/Elektrotechnik) der Universität Bremen.*

SCHANK, R.C. & ABELSON, R.A. (1977). Scripts, plans, goals and understanding. An inquiry into human knowledge structures. *Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.*

SCHECKER, H. (1993). The didactic potential of computer aided modeling for physics education. *In FERGUSON, D.L. (Editor): Advanced Educational technologies for Mathematics and Science. Berlin: Springer, 165-207.*

SCHECKER, H. (1998a). Integration of experimenting and modelling by advanced educational technology: Examples from nuclear physics. *In TOBIN, K. & FRASER, B. (Editors): International Handbook of Science Education. Kluwer Publishers, The Netherlands, 383-398.*

SCHECKER, H. (1998b). Physik modellieren. *Stuttgart: Klett.*

SCHEMANN, M. (1995). Diagnose von Wissensstrukturen: Eine empirische Untersuchung. *Unterrichtswissenschaft, 23(3), 208-228.*

SCHULER, H. (1995). Lehrbuch der Organisationspsychologie. *Bern: Huber.*

STEIN, J.S., NACHMIAS, R. & FRIEDLER, Y. (1990). An experimental comparison of two science laboratory environments: Traditional and microcomputer-based. *Journal of Educational Computing Research, 6(2), 183-202.*

STUART, H.A. (1985). Should concept maps be scored numerically? *European Journal of Science Education, 7(1), 73-81.*

TAMIR, P. & LUNETTA, V.N. (1981). Inquiry related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education, 65, 477-484.*

TERGAN, S-O. (1989). Psychologische Grundlagen der Erfassung individueller Wissensrepräsentationen – Teil II: Methodologische Aspekte. *Sprache & Kognition, 8(4), 193-202.*

TERGAN, S.-O. (1997). Multiple views, contexts, and symbol systems in learning with hypertext/hypermedia: A critical review of research. *Educational Technology, July-August 1997, 5-18.*

THORNTON, R.K. & SOKOLOFF, D.R. (1990). Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics, 58(9), 858-867.*

TINKER, R. (1993). Modelling and theory building: Technology is support of student theorizing. *In FERGUSON, D. L. (Editor): Advanced Educational technologies for Mathematics and Science. Berlin: Springer, 91-113.*

TOBIN, K.G. (1990). Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics, 90, 403-418.*

TOH, K.-A. (1990). Factors affecting success in science investigations. *In WOOLNOUGH, B. (Editor): Practical Science. Milton Keynes: Open University Press.*

TOOTHACKER, W.S. (1983). A critical look at introductory labwork instruction. *American Journal of Physics, 51, 516-520.*

VOLPERT, W. (1994). Wider die Maschinenmodelle des Handelns. *Lengerich: Pabst.*

VOSNIADOU, S. (1992). Fostering conceptual change: The role of computer-based environments. *In DE CORTE, E. et al. (Editors): Computer-based Learning Environments and Problem Solving. Berlin: Springer, 149-162.*

VYGOTSKY, L.S. (1981). The genesis of higher mental functions. *In WERTSCH, J.V. (Editor): The concept of activity in Soviet Psychology.*

WALLACE, J.D. & MINTZES, J.J. (1990). The concept map as a research tool: Exploring conceptual change in biology. *Journal of Research in Science Teaching, 27(10), 1033-1052.*

WELLINGTON, J. (1998). Practical work in Science: Time for a reappraisal. *In WELLINGTON, J. (Editor): Practical work in school science - Which way now? London: Routledge.*

WELZEL, M., HALLER, K., BANDIERA, M., HAMMELEV, D., KOUMARAS, P., NIEDDERER, H., PAULSEN, A., ROBINAULT, K. & AUFSCHNAITER, S. v. (1998). Ziele, die Lehrende mit experimentellem Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden - Ergebnisse einer europäischen Umfrage. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4(1), 29-44.*

WESTBROOK, S.L. & ROGERS, L.N. (1996). Doing is believing: Do laboratory experiences promote conceptual change? *School Science and Mathematics, 96(5), 263–271.*

WHITE, R.T. & GUNSTONE, R. (1992). Probing understanding. *New York: Falmer.*

WHITE, R.T. (1996). The link between laboratory and learning. *International Journal of Science Education, 18(7), 761-774.*

WILSON, J.T. & STENSVOLD, M. (1993). Using three types of outcomes to design laboratory activities. *School Science Review, 93(8), 422-427.*

WINDSCHITL, M. & ANDRE, T. (1998). Using computer simulations to enhance conceptual change: The roles of constructivist instruction and student epistemological beliefs. *Journal of Research in Science Teaching, 35(2), 145-160.*

WOOLNOUGH, B.E. (1983). Exercises, investigations and experiences. *Physics Education, 18, 60-63.*

WOOLNOUGH, B.E. & ALLSOP, T. (1985). Practical Work in Science. *Cambridge University Press (Cambridge Science Education Series).*

ANHÄNGE

Anhang 1 (zu den Praktikumsexperimenten)

- Anleitung zu Versuch I (traditionell)
- Anleitung zu Versuch I (computergestützt)
- Stellamodell zu Versuch I

- Anleitung zu Versuch II (traditionell)
- Anleitung zu Versuch II (computergestützt)
- Stellamodell zu Versuch II

VERSUCHSANLEITUNG ZU VERSUCH I (TRADITIONELL)

(vgl. FINKE, 1992)

Das Relaxationsverhalten eines RC-Kreises

1. Ableitung einer allgemeinen Relaxationsgleichung und ihre Anwendung auf den RC-Kreis

Relaxationserscheinungen treten auf, wenn ein System aus seinem Ausgangszustand entfernt wird und es wieder nicht-oszilllatorisch in denselben zurückkehrt*). Die Änderungsgeschwindigkeit im Zeitpunkt t der betrachteten physikalischen Größe A ist dabei meist proportional zur Abweichung der Größe A vom (nur asymptotisch erreichbaren) Endzustand $A(\infty)$

(1) $$\frac{dA}{dt} = c\left[A(t) - A(\infty)\right] .$$

Die Integration dieser Gleichung vom Zeitpunkt 0 bis zum Zeitpunkt t liefert

$$\int_{A(0)}^{A} \frac{dA'}{A' - A(\infty)} = \int_0^t c\,dt'$$

oder

$$\ln \frac{A(t) - A(\infty)}{A(0) - A(\infty)} = ct$$

und schließlich

(2) $$A(t) = A(\infty) + \left[A(0) - A(\infty)\right] e^{ct} .$$

In (2) muss $c < 0$ sein, damit A beschränkt bleibt.

Beispiele für Relaxationsvorgänge stellen die Ent- und die Aufladung eines Kondensators über einen Widerstand dar.

Angenommen auf den Platten des Kondensators mit der Kapazität C in Abb.1 befinde sich die Ladung Q. Dann liegt zwischen ihnen eine Spannung U, die durch

(3) $$U = \frac{Q}{C}$$

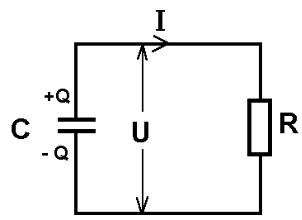


Abb.1 Entladung eines Kondensators über einen Widerstand

gegeben ist. Nach dem ohmschen Gesetz bedingt diese einen Strom

(4) $$I = \frac{U}{R}$$

*) Diese Bedingung ist bei mechanischen Systemen erfüllt, wenn Trägheitskräfte gegenüber anderen Kräften vernachlässigt werden können.

durch den Widerstand R, der einen Ausgleich der Ladungen herbeiführt. In der Zeit dt fließt die Ladung Idt über; die Ladung auf den Kondensatorplatten ändert sich also um

(5) $$dQ = -I dt \quad .$$

Mit Hilfe der Gleichungen (3), (4) und (5) kann man die Größen U und I eliminieren, sodass man eine Differentialgleichung für den zeitlichen Verlauf der Ladung des Kondensators bekommt, die die gleiche Gestalt wie (1) hat

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{1}{RC}\,Q(t) \quad .$$

Da der Kondensator nach unendlicher langer Zeit entladen ist, gilt

$$Q(\infty) = 0 \quad .$$

Somit liefert die Integration (siehe (2))

(6) $$Q(t) = Q(0)\exp(-t/RC) \quad .$$

Entsprechend lässt sich die Gleichung für die Aufladung eines Kondensators, der über einen Widerstand an eine Spannungsquelle mit der Spannung U_0 angeschlossen ist, berechnen. Hier gelten die Randbedingungen

$$Q(0) = 0 \text{ und } Q(\infty) = CU_0 \quad .$$

Den Ausdruck RC bezeichnet man als die Zeitkonstante des Relaxationsvorganges. Während des Zeitraumes $\Delta T = RC$ ändert sich die Ladung auf dem Kondensator um den Faktor

$$\frac{Q(t = RC)}{Q(0)} = \frac{1}{e} \approx 0{,}368 \quad .$$

2. Beschreibung eines Messverfahrens zur Bestimmung der Zeitkonstanten RC

Zur Messung von RC kann man die in Abb.2 wiedergegebene Schaltung benutzen. Mit dieser Versuchsanordnung lässt sich die Kondensatorspannung U_C, die gemäß (3) proportional zur Ladung Q ist, in Abhängigkeit von der Zeit aufzeichnen. Man muss hierzu U_C an den Y-Eingang eines XY-Schreibers anlegen und dafür sorgen, dass derselbe zeitproportional in X-Richtung ausgelenkt wird. Das kann man mit einem an den X-Eingang angeschlossenen Dreiecksspannungsgenerator erreichen. Vor Beginn der Messung sind einige Justierungen am XY-Schreiber vorzunehmen: Als erstes sollte das Achsenkreuz in die linke untere Ecke des Diagramms gelegt werden (X- und Y-Eingang offen). Als nächstes ist die Empfindlichkeit des X-Einganges bei angeschlossenem Dreiecksspannungsgenerator so einzuregeln, dass der Schreiber in X-Richtung voll ausgesteuert wird. Die Frequenz des Generators muss dabei unter 1 Hz liegen. Man lässt anschließend den Schreiber einige Male hin und herlaufen, damit die Gerade $U_C(t) = 0$ aufgezeichnet

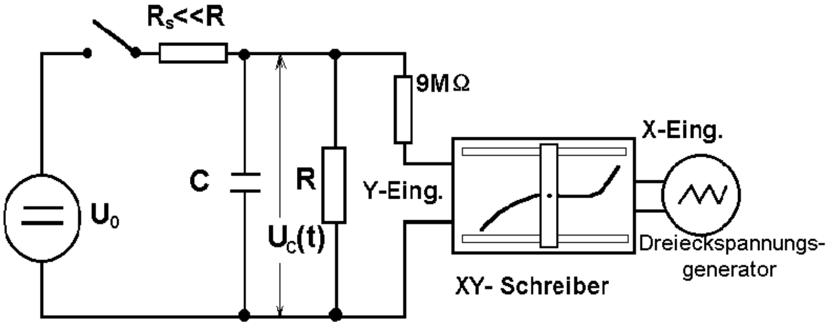


Abb.2 Schaltung zur Aufnahme einer Entladekurve

wird. Sodann lädt man den Kondensator durch Betätigen des Schalters mit Hilfe der Gleichspannungsquelle U_0 auf, schließt C über den 9 MΩ-Widerstand an den Y-Eingang an und regelt die Y-Empfindlichkeit des Schreibers auf Vollausschlag ein. Zum Aufzeichnen einer Entladekurve braucht man jetzt nur noch den Schalter in dem Moment zu öffnen, wenn der Schreiberstift (bei angeschlossener Dreiecksspannung) am linken Ende des Diagramms steht. In mehreren Probeläufen ist eine geeignete Zeitablenkgeschwindigkeit am Dreiecksspannungsgenerator einzuregeln; und zwar sollte U_C am Ende des Messzeitraumes ungefähr auf ein Zehntel seines Ausgangswertes abgesunken sein. Nach der Aufzeichnung der Entladekurve muss die X-Achse in Zeiteinheiten geeicht werden. Dazu benutzt man zweckmäßigerweise einen quarzgesteuerten Periodendauermesser.

3. Relaxationsphänomene, die unter dem Einfluss einer periodischen Auslenkung aus der Gleichgewichtslage auftreten

Auch in diesem Falle besteht eine enge Analogie zwischen dem Verhalten eines mechanischen Systems, das unter dem Einfluss einer Kraft mit sinusförmiger Zeitabhängigkeit steht, und einem RC-Kreis, an welchem eine Sinusspannung anliegt (Abb.3). Aus diesem Grunde soll im folgenden wiederum das Verhalten des RC-Kreises als übertragbares Beispiel auf Relaxationsphänomene in anderen Gebieten der Physik betrachtet werden.

Solange die Frequenz ω der äußeren Wechselspannung U(t) in der Schaltung nach Abb.3 hinreichend niedrig ist, das heißt $\omega << 1/RC$, wird die Spannung UC (t) am Kondensator in jedem Zeitpunkt praktisch gleich U(t) sein. Mit zunehmender Frequenz bleibt jedoch die Auf- und Entladung des Kondensators über den Widerstand R immer weiter hinter dem zeitlichen Verlauf der Generatorspannung zurück. Es wird sich also eine Phasenverschiebung φ zwischen beiden Spannungen ausbilden, und die Amplitude A der Kondensatorspannung wird abnehmen. Die Frequenzabhängigkeit der Phase und der Amplitude von U_C sollen nun im folgenden näher betrachtet werden.

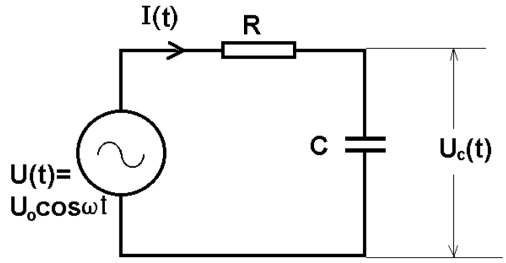


Abb.3 Schaltungsbeispiel zur Diskussion von Relaxationsphänomen, die unter dem Einfluss einer periodischen Auslenkung auftreten

Mit dem Ansatz

$$U_C(t) = A(\omega)\cos\left(\omega t + \varphi\{\omega\}\right)$$

versucht man, eine Lösung des Problems zu finden. Nach dem zweiten Kirchhoffschen Gesetz (siehe V302, Kap.1) gilt für den Stromkreis in Abb.3

$$U_0 \cos\omega t = \mathbf{I}(t) R + A(\omega)\cos\left(\omega t + \varphi\right),$$

mit

$$\mathbf{I}(t) = \frac{dQ}{dt} = C\frac{dU_C}{dt}.$$

Somit ist

$$U_0 \cos\omega t = -A\omega RC\sin\left(\omega t + \varphi\right) + A(\omega)\cos\left(\omega t + \varphi\right).$$

Nach Anwendung der Additionstheoreme für die sin- und cos-Funktion erhält man daraus

(7) $$\cos\omega t\left(U_0 + \omega RCA\sin\varphi - A\cos\varphi\right) = \sin\omega t\left(-\omega RCA\cos\varphi - A\sin\varphi\right).$$

Diese Gleichung muss für alle t erfüllt sein, so zum Beispiel für $t = \pi/2\omega$. Das ist nur möglich, wenn der Klammerausdruck auf der rechten Seite von (7) verschwindet, wenn also

$$-\omega RC\cos\varphi = \sin\varphi$$

oder

(8) $$\tan\varphi(\omega) = -\omega RC$$

ist. Damit ist eine Beziehung für die Frequenzabhängigkeit der Phase φ hergeleitet. Man erkennt, dass - wie erwartet - φ für niedrige Frequenzen gegen null geht, während es sich für hohe Frequenzen asymptotisch dem Wert $\pi/2$ nähert. Für $\omega = 1/RC$ ist $\varphi = \pi/4$.

Die Gleichung (7) muss auch für t = 0 gültig sein, das bedeutet, dass auch der linke Klammerausdruck identisch verschwinden muss; also ist

(9) $$A = \frac{U_0}{\cos\varphi - \omega RC\sin\varphi}.$$

Da zwischen den Winkelfunktionen cos, sin und tg die Beziehungen

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\mathrm{tg}^2\varphi}} \quad \text{und} \quad \sin\varphi = \frac{\mathrm{tg}\varphi}{\sqrt{1+\mathrm{tg}^2\varphi}}$$

bestehen, lässt sich (9) umformen in

$$A = \frac{U_0\sqrt{1+\mathrm{tg}^2\varphi}}{1-\omega RC\,\mathrm{tg}\varphi}.$$

Unter Benutzung von (8) folgt daraus die Gleichung

(10) $$A(\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{1+\omega^2 R^2 C^2}},$$

die eine Beziehung zwischen der Amplitude der Kondensatorspannung und der Kreisfrequenz der erregenden Spannung herstellt. Man erkennt, dass für $\omega \to 0$ $A(\omega)$ gegen U_0 geht und dass für $\omega \to \infty$ $A(\omega)$ verschwindet. Weiterhin ist A (1/RC) = $U_0/\sqrt{2}$.

4. Beschreibung einer Apparatur zur Messung der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung

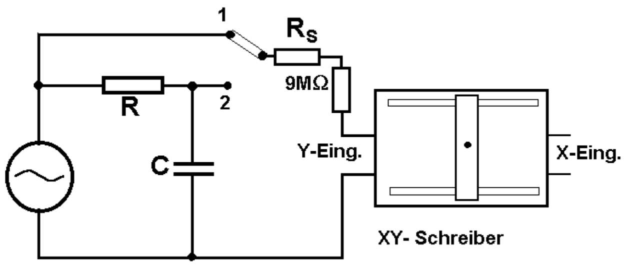


Abb.4 Schaltung zur Messung der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung

Die Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung lässt sich mit Hilfe der in Abb.4 wiedergegebenen Schaltung untersuchen. Man bringt dazu für jede am Sinusgenerator eingestellte Frequenz den Umschalter zunächst in die Stellung 2, sodass die Spannung U_0 am Y-Eingang des XY-

Schreibers anliegt. Sodann regelt man die Y-Empfindlichkeit so ein, dass der Schreiber nahezu Vollausschlag erreicht. Anschließend lässt man den Schreiber einige Sinusschwingungen aufzeichnen. Danach hebt man den Schreiberstift vom Papier ab und verschiebt ihn ein wenig in X-Richtung, legt den Umschalter in die Stellung 2 und zeichnet UC auf.

5. Beschreibung eines Messverfahrens zur Phasenbestimmung zwischen zwei Spannungen

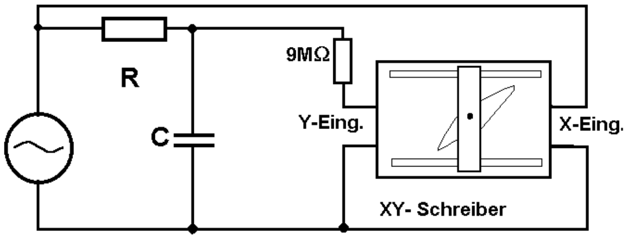


Abb.5 Schaltung zur Messung der Phasenbeziehung zwischen Erreger- und Kondensatorspannung

Zur Bestimmung der Phasenverschiebung φ zwischen Generator- und Kondensatorspannung kann man ebenfalls den XY-Schreiber heranziehen. Er wird hierzu in der in Abb.5 dargestellten Weise geschaltet.

Wenn sich die Spannungen U_x und U_y an seinen Eingängen durch

(11) $$U_x(t) = U_0 \cos\omega t$$

und

(12) $$U_y(t) = A\cos(\omega t + \varphi)$$

darstellen lassen, zeichnet er eine Ellipse auf, wie im folgenden gezeigt werden soll: Die Elimination der Zeit aus (11) und (12) liefert die Beziehung

$$\left(\frac{U_y}{A}\right)^2 - 2\frac{U_y}{A}\frac{U_x}{U_0}\cos\varphi + \left(\frac{U_x}{U_0}\right)^2 = \sin^2\varphi \quad .$$

Dies ist die Gleichung einer relativ zum Achsenkreuz gedrehten Ellipse, wie sie in Abb.6 dargestellt ist.

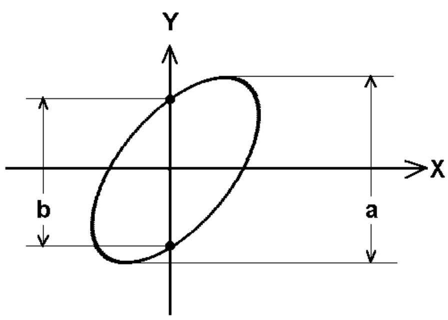


Abb.6 Zur Bestimmung des Phasenwinkels φ aus der Lissajous-Ellipse

Aus den in Abb.6 eingezeichneten Größen a und b und lässt sich nun φ recht einfach bestimmen: aus (12) folgt sofort

$$a = 2A \quad .$$

Weiterhin ist $U_x = 0$ zu den Zeitpunkten $\omega t = n\pi/2$ (n = 1, 3, 5, ...).

Dann hat U_y gerade die Werte

$$U_y\left(n\frac{\pi}{2}\right) = A\cos\left(n\frac{\pi}{2} + \varphi\right) = \pm A\sin\varphi$$

Somit ist

$$b = 2A\,\mathbf{sin}\varphi$$

und damit

(13)
$$\varphi = \mathbf{arcsin}\frac{b}{a} \quad .$$

Zur Bestimmung von φ nach dem eben beschriebenen Verfahren lässt man den Schreiber zunächst das XY-Achsenkreuz aufzeichnen, indem man abwechselnd die Steuerspannungen am X- und Y-Eingang abklemmt. Anschließend legt man beide Spannungen gleichzeitig an und zeichnet die Ellipse auf. Es ist zu beachten, dass bei Frequenzen oberhalb von etwa 0,5 Hz die Schreibgeschwindigkeit des Gerätes nicht mehr ausreicht, um die Ellipse unverzerrt über die gesamte Papierbreite aufzuzeichnen. In diesem Falle muss die Schreibamplitude in X-Richtung auf wenige cm reduziert werden.

6. Mess- und Auswerteprogramm

a) Man zeichne mit der in Abb.2 dargestellten Schaltung eine Entladekurve auf, stelle die Ergebnisse in einem halblogarithmischen Diagramm dar, führe eine Ausgleichsrechnung für die Wertepaare ($\ln U_C/U_0$, t) durch und gebe die daraus resultierende Zeitkonstante RC an.

b) Man messe U_C/U_0 in Abhängigkeit von der Frequenz des Sinusgenerators mit der Schaltung nach Abb.4 im Frequenzbereich 0,005 bis 1 Hz und stelle das Ergebnis in einem halblogarithmischen Diagramm dar. Aus den (U_C/U_0, ν)-Werten, die im steilen Teil der Kurve liegen, errechne man mehrere Male die Zeitkonstante RC.

c) Man messe die Phase φ in Abhängigkeit von der Frequenz des Sinusgenerators im Bereich von 0,005 bis 0,5 Hz mit der Schaltung nach Abb.5 und stelle das Ergebnis ebenfalls in einem halblogarithmischen Diagramm dar. Auch hier berechne man aus den Wertepaaren (φ, ν), die im steilen Teil der Kurve liegen, mehrfach die Zeitkonstante RC.

d) Man überlege sich mit Hilfe der Gleichungen (8) und (9), auf welcher Kurve die Wertepaare ($U_C(\omega)/U_0$, $\varphi(\omega)$) liegen und stelle dieselbe auf Polarkoordinatenpapier dar("Ortskurve" des RC-Kreises). Außerdem trage man in dieses Diagramm die gemessenen Wertepaare (U_C/U_0, φ) ein.

VERSUCHSANLEITUNG ZU VERSUCH I (COMPUTERGESTÜTZT)

(Die „traditionelle" und die „computergestützte" Anleitung unterscheiden sich nur in wenigen Passagen, die den Versuchsaufbau und die Aufgabenstellung betreffen. Nur diese sind hier dokumentiert.)

2. Beschreibung eines Messverfahrens zur Bestimmung der Zeitkonstanten RC

Zur Messung von RC kann man die in Abb.2 wiedergegebene Schaltung benutzen. Mit dieser Versuchsanordnung lässt sich die Kondensatorspannung U_C, die gemäß (3) proportional zur Ladung Q ist, in Abhängigkeit von der Zeit aufzeichnen. Man muss hierzu U_C über das CASSY Mess-Interface an einen Computer geben. Auf diesem kann dann der zeitliche Verlauf der Spannung dargestellt werden.

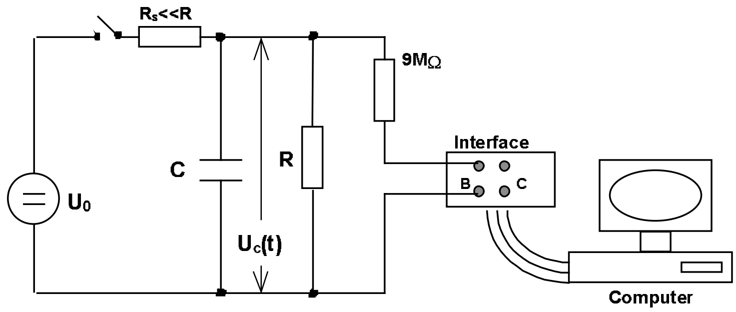


Abb.2 Schaltung zur Aufnahme einer Entladekurve

4. Beschreibung einer Schaltung zur Messung der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung

Die Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung lässt sich mit Hilfe der in Abb.4 wiedergegebenen Schaltung untersuchen. Man legt dazu sowohl die Ausgangsspannung des Sinusgenerators U_0 als auch die Kondensatorspannung U_C an jeweils einen Eingang des Mess-Interfaces an und stelle auf dem Computer beide Spannungen in Abhängigkeit von der Zeit in einem Diagramm dar. Für jede am Sinusgenerator eingestellte Frequenz lassen sich dann die Periodendauer (bzw. Frequenz) sowie die Amplituden von U_0 und U_C direkt aus dem Diagramm entnehmen. (Auch die Phasenverschiebung ist natürlich abzulesen. Diese soll jedoch nach einem anderen gebräuchlichen Messverfahren bestimmt werden, siehe Abschnitt 5.).

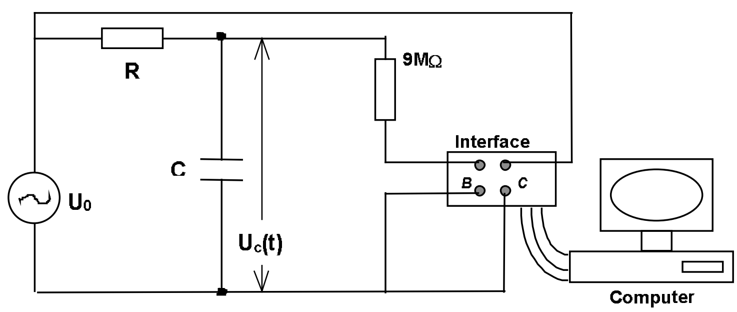


Abb.4 Schaltung zur Messung der Frequenzabhängigkeit der Kondensatorspannung und zur Messung der Phasenbeziehung zwischen Erreger- und Kondensatorspannung

5. Beschreibung eines Messverfahrens zur Phasenbestimmung zwischen zwei Spannungen

Zur Bestimmung der Phasenverschiebung φ zwischen Generator- und Kondensatorspannung kann man die gleiche Schaltung wie in Abb. 4 benutzen.

Wenn sich die Spannungen U_X und U_Y an den Interface-Eingängen durch

(11) $$U_x(t) = U_0 \cos \omega t$$

und

(12) $$U_y(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

darstellen lassen, zeichnet er eine Ellipse auf, wie im folgenden gezeigt werden soll: Die Elimination der Zeit aus (11) und (12) liefert die Beziehung

$$\left(\frac{U_y}{A}\right)^2 - 2\frac{U_y}{A}\frac{U_x}{U_0}\cos\varphi + \left(\frac{U_x}{U_0}\right)^2 = \sin^2\varphi \quad .$$

Dies ist die Gleichung einer relativ zum Achsenkreuz gedrehten Ellipse, wie sie in Abb.6 dargestellt ist.

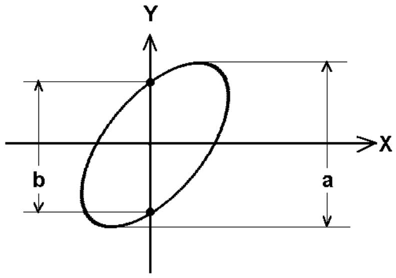


Abb.5 Zur Bestimmung des Phasenwinkels φ aus der Lissajous-Ellipse

Aus den in Abb.5 eingezeichneten Größen a und b und lässt sich nun φ recht einfach bestimmen: aus (12) folgt sofort

$$a = 2A \quad .$$

Weiterhin ist $U_X = 0$ zu den Zeitpunkten $\omega t = n\pi/2$ (n = 1, 3, 5, ...).
Dann hat U_Y gerade die Werte

$$U_Y\left(n\frac{\pi}{2}\right) = A\cos\left(n\frac{\pi}{2} + \varphi\right) = \pm A\sin\varphi \quad .$$

Somit ist

$$b = 2A\sin\varphi$$

und damit

(13) $$\varphi = \arcsin\frac{b}{a} \quad .$$

Zur Bestimmung von φ nach dem eben beschriebenen Verfahren trägt man also beide Spannungen auf dem Computer in einem Diagramm gegeneinander auf und zeichnet die Ellipse.

5. Mess- und Auswerteprogramm

a) Man zeichne mit der in Abb.2 dargestellten Schaltung eine Entladekurve auf. Die Tabellenwerte von U_C stelle man in ORIGIN in einem halblogarithmischen Diagramm dar. Man führe eine Ausgleichsrechnung für die Wertepaare ($\ln U_C/U_0$, t) durch und gebe sofort die daraus resultierende Zeitkonstante RC an (die Werte im unteren Zehntel der Entladekurve benutze man dabei nicht).

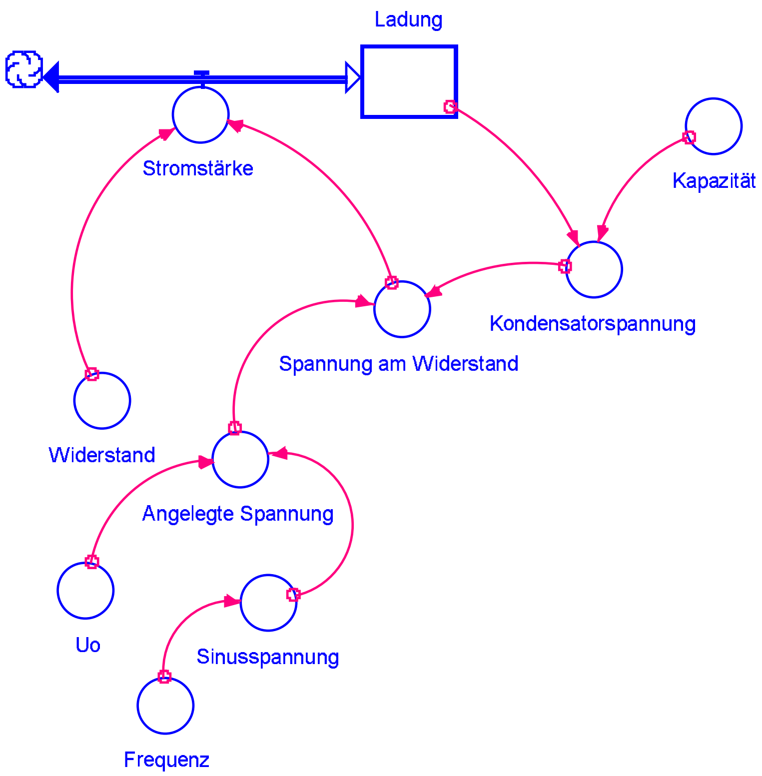
b) Man messe U_C/U_0 in Abhängigkeit von der Frequenz des Sinusgenerators mit der Schaltung nach Abb.4. im Frequenzbereich 0,005 bis 1 Hz. Hierfür trage man die im CASSY-Diagramm abgelesenen Werte wie auch die zugehörigen Frequenzen direkt in ORIGIN ein und stelle sie in einem halblogarithmischen Diagramm dar. Aus den (U_C/U_0, ν)-Werten errechne man sofort die Zeitkonstante RC (relevant sind dabei die Wertepaare die im steilen Teil der Kurve liegen).

c) Man messe die Phase φ in Abhängigkeit von der Frequenz des Sinusgenerators im Bereich von 0,005 bis 1 Hz mit der gleichen Schaltung und verfahre bei der Werteaufnahme wie unter b). Man stelle die Werte ebenfalls in einem halblogarithmischen Diagramm dar. Auch hier berechne man sofort die Zeitkonstante RC (relevant sind dabei wiederum die Wertepaare (φ, ν), die im steilen Teil der Kurve liegen).

d) Man überlege sich mit Hilfe der Gleichungen (8) und (9), auf welcher Kurve die Wertepaare ($U_C(\omega)/U_0$, $\varphi(\omega)$) liegen und stelle die theoretischen sowie die gemessenen Wertepaare sofort mit ORIGIN in Polarkoordinaten dar ("Ortskurve" des RC-Kreises).

STELLA-MODELL ZU VERSUCH I

Graphische Programmebene:



Formale Programmebene:

```
Ladung(t) = Ladung(t - dt) + (Stromstärke) * dt
INIT Ladung = 0
INFLOWS:
Stromstärke = Spannung_am_Widerstand/Widerstand
Angelegte_Spannung = Uo*Sinusspannung
Frequenz = 0.5
Kapazität = 20.6185E-6
Kondensatorspannung = Ladung/Kapazität
Sinusspannung = IF(Frequenz>0)THEN(SIN(2*PI*Frequenz*TIME))ELSE(1)
Spannung_am_Widerstand = Angelegte_Spannung-Kondensatorspannung
Uo = 2.5
Widerstand = 67900
```

VERSUCHSANLEITUNG ZU VERSUCH II (TRADITIONELL)

(vgl. FINKE, 1992)

Anharmonische Schwingungen

1. Grundsätzliche Bemerkungen

Ein schwingungsfähiges System heißt linear, wenn das zeitliche Verhalten seiner physikalischen Größen durch eine lineare Differentialgleichung mit konstanten Koeffizienten beschrieben werden kann. Ein bekanntes Beispiel stellt die Gleichung (11) in V 354 dar. Eine wesentliche Eigenschaft solcher Systeme ist ihre lineare Superpositionierbarkeit; das heißt, wenn $x_1(t)$ und $x_2(t)$ Lösungen einer Differentialgleichung sind, dann stellt auch

$$Ax_1(t) + Bx_2(t)\,A,\ B \in C$$

eine Lösung dar. Anschaulich gesprochen bedeutet das: In einem linearen System beeinflussen sich verschiedene, gleichzeitig angeregte Schwingungen nicht. Eine wichtige Konsequenz aus diesem Verhalten ist beispielsweise die Tatsache, dass die Resonanzfrequenz einer erzwungenen linearen Schwingung nicht von ihrer Amplitude abhängt. Angenähert lineare Schwingungssysteme kann man in der Natur häufig beobachten, wenn die Schwingungsamplituden hinreichend klein bleiben.

Der (umfassendere) Bereich der nicht-linearen Physik wird entsprechend durch nicht-lineare Differentialgleichungen beschrieben. Man überzeugt sich leicht, dass hier das Prinzip der linearen Superponierbarkeit ungültig ist. An seine Stelle treten jetzt neue und zum Teil spektakuläre [1] Phänomene.

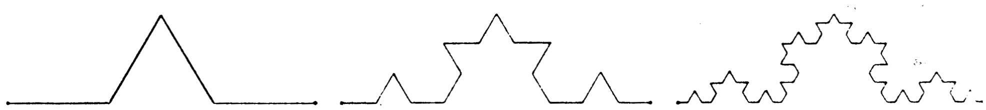


Abb. 1

Wesentlich ist, dass Schwingungsparameter, wie z. B. die Periodendauer, amplitudenabhängig werden.

Eine weitere wichtige Eigenschaft anharmonischer Schwingungssysteme ist ihre Fähigkeit zur Anregung von Oberwellen, das heißt, Schwingungen mit der Frequenz $n\omega$ ($n = 2, 3, \ldots$), wobei ω die Frequenz des antreibenden Systems bedeutet. Die Amplituden der Oberwellen hängen dabei in komplizierter Weise von einander ab. Noch vielfältiger werden die Erscheinungen, wenn die Erregerfunktion aus mehreren harmonischen Anteilen besteht wie zum Beispiel

$$M(t) = M_{01}\cos(\omega 1 t) + M_{02}\cos(\omega 2t + \psi),\quad \omega 1 \neq \omega 2$$

Man kann zeigen, dass das nicht-lineare System jetzt auch Schwingungen mit den Frequenzen

$$n\omega 1 \pm n\omega 2 \quad (n,\ m = 0, 1, 2, \ldots)$$

ausführen kann. Schwingungen mit $n \neq 0$ und $m \neq 0$ nennt man Kombinationsschwingungen. Unter speziellen Voraussetzungen (z. B. beim Überschreiten einer bestimmten Amplitudenschwelle) ist auch die Anregung sogenannter subharmonischer Schwingungen möglich; das sind Schwingungen

[1] Lösungen nicht-linearer Bewegungsgleichungen zeigen häufig das Phänomen der Skaleninvarianz (auch Selbstähnlichkeit genannt), das heißt, eine Lösung $x(t)$ hat die Eigenschaft $x(\alpha t) = \alpha^{\gamma} x(t)$, ($\gamma \neq 1$, $\alpha \neq 0$). Derartige Lösungen besitzen keinen natürlichen Zeitmaßstab mehr, wie sie z. B. die Zerfallskonstante λ in der (linearen) radioaktiven Zerfallsgleichung darstellt. Das hat zur Konsequenz, dass eine Eigenschaft der Lösung, die in einem großen Zeitmaßstab zu beobachten ist, sich in jedem noch so kleinen Maßstab wiederholen muss. Die Kurve $x(t)$ stellt dann ein Gebilde dar, das aus geometrisch sich verfeinernden Wiederholungen ad infinitum besteht (siehe Abb. 1). Die unendlich lange, in sich verschachtelte Kurve stellt weder eine Linie (Dimension 1) noch eine Fläche (Dimension 2) dar, sondern man ordnet ihr nach einer bestimmten Rechenvorschrift eine „gebrochene" Dimension zwischen 1 und 2 zu. Aus diesem Grunde bezeichnet man derartige Strukturen auch als Fraktale.

mit den Frequenzen ω/k (k= 1, 2, ...). Wird nun eine Oberwelle mit der Frequenz $n\omega$ so stark angeregt, dass sie ihrerseits Subharmonische erzeugen kann, dann entstehen Schwingungen mit den Frequenzen $n/k \bullet \omega$. Man bezeichnet diese häufig als Ultraharmonische. Wie man sieht, ist die Erscheinungsvielfalt der anharmonischen Schwingung um ein Vielfaches größer als die der linearen.

2. Beschreibung eines anharmonischen, mechanischen Schwingungssystems.

Am Beispiel eines Drehpendels (sogenanntes Pohlsches Rad) sollen im folgenden nicht-lineare Schwingungsphänomene untersucht werden. Das Gerät (siehe Abb. 2) besteht aus einer gut ausgewuchteten Schwungscheibe aus Kupfer, die sich um eine horizontale Achse drehen kann. Die Scheibe wird durch eine Spiralfeder in einer Gleichgewichtslage gehalten. Mittels einer von einem Elektromotor angetriebenen Exzenterscheibe kann das Schwungrad über eine Schubstange und

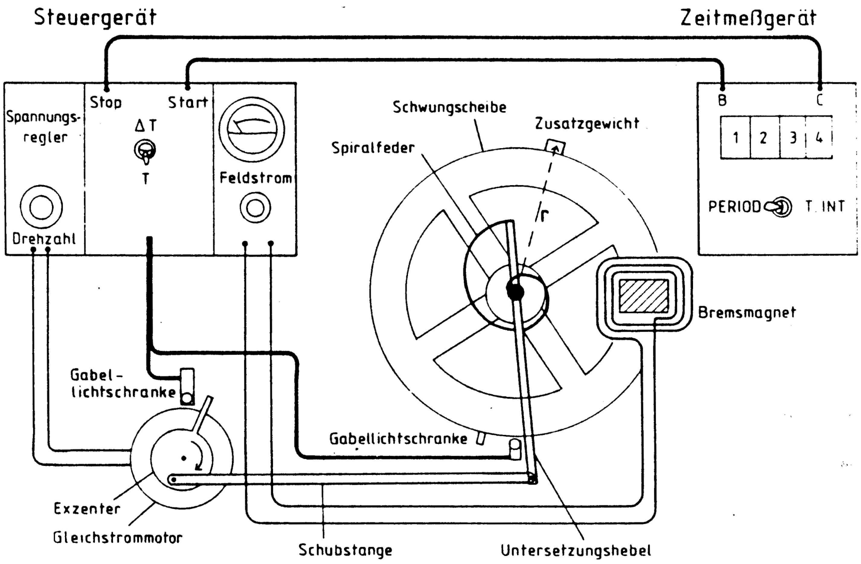


Abb. 2

einen Untersetzerhebel zu erzwungenen Schwingungen angeregt werden. Dabei soll das vom Motor auf die Schwungscheibe ausgeübte Drehmoment die Zeitabhängigkeit

$$M(t) = M_0 \sin(\omega t)$$

besitzen. Das an sich lineare Schwingungssystem - das rücktreibende Drehmoment entsteht durch die Deformation einer Spiralfeder, für die das Hooksche Gesetz gilt

$$M_D = D\varphi$$

(D = Federkonstante, $\varphi = 0 :=$ Gleichgewichtslage)

wird durch die Montage eines nahezu punktförmigen Zusatzgewichtes mg am Rand der Schwungscheibe nicht-linear gemacht; denn das hier durch hervorgerufene Drehmoment hängt gemäß

$$M_G = -mgr \sin(\varphi)$$

nicht-linear vom Auslenkungswinkel φ ab.

Zusätzlich zu der zwangsläufig vorhandenen Lagerreibung erzeugt eine Wirbelstrombremse ein weiteres retardierendes Drehmoment. Durch Regelung des Feldstromes I des in Abb. 2 eingezeichneten Bremsmagneten kann man den Betrag der Dämpfung kontinuierlich einstellen. Wegen des Induktionsgesetzes ist das Bremsmoment proportional zur Winkelgeschwindigkeit des Rades

$$M_B = R(I)\,\dot{\varphi}$$

Während der Messung wird R(I) so eingestellt, dass $|M_B|$ viel größer als das durch die Lagerreibung verursachte Bremsmoment ist, welches nicht proportional zu $\dot{\varphi}$ ist.

Wenn θ das Trägheitsmoment des schwingenden Systems ist, lässt sich folgende Bewegungsgleichung für das Pohlsche Rad formulieren

$$\theta\ddot{\varphi} + M_D + M_G + M_B = M(t)$$

oder

(1) $$\theta\ddot{\varphi} + R\dot{\varphi} + D\varphi - mgr\sin(\varphi) = M_0 \sin(\omega t)$$

(1) stellt eine inhomogene, nicht-lineare Differentialgleichung dar, deren Lösung sich nicht geschlossen darstellen lässt. Um dennoch allgemeine Aussagen über die Gestalt der Lösung machen zu können, wird man sich mit Näherungen begnügen müssen, bei denen ein Integration von (1) möglich ist; das soll im folgenden Kapitel versucht werden.

3. Näherungslösungen für die Bewegungsgleichung des Pohlschen Rades

Bei dem hier beschriebenen Näherungsverfahren, welches in der Literatur unter der Bezeichnung harmonische Balance zu finden ist, versucht man die Differentialgleichung zu linearisieren, da sich für eine solche bekanntlich eine geschlossene Lösung angeben lässt. Man macht daher den Ansatz

(2) $$\varphi(t) = A(\omega)\cos(\omega t)$$ [2],

worin A die (frequenzabhängige) Amplitude der Lösungsfunktion $\varphi(t)$ bedeutet. Geht man mit diesem Ansatz in (1) ein, so wird auch die nicht-lineare Funktion f mit

(3) $$f(\varphi) := mgr\sin(\varphi)$$

eine periodische Funktion der Zeit. Da f stetig ist, kann diese Funktion in eine Fourier-Reihe (siehe V 351) entwickelt werden:

(4) $$f(\varphi\{t\}) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty}(a_k\cos(k\omega t) + b_k\sin(k\omega t)).$$

Da f(0) = 0 ist und φ als gerade Funktion angesetzt wurde, sind alle $b_k = 0$ und ebenso a_0. Von den übrigen ak kann bei der harmonischen Balance nur a_1 als von null verschieden angenommen werden, da es das Ziel ist, f als lineare Funktion φ darzustellen; denn nur unter diesen Voraussetzungen besitzt (4) die vereinfachte Form

(5) $$f(\varphi\{t\}) = a_1\cos(\omega t)$$

oder wegen (2)

$$f = \frac{a_1}{A}\varphi = \text{const}\ \ \varphi .$$

Es muss jetzt noch der Fourier-Koeffizient a_1 berechnet werden. Er ergibt sich gemäß des Fourierschen Theorems zu

(6) $$a_1 = \frac{\omega}{\pi}\int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} f(\varphi\{t\})\cos(\omega t)dt .$$

[2] (2) stellt für das vorliegende Problem eine brauchbare Näherung dar, denn wie eine genauere Rechnung zeigt, beträgt die Amplitude der Oberwelle mit 3ω selbst bei A = 2 rad nur 2,2 % der Amplitude der Grundwelle.

Um das Integral in (6) berechnen zu können, wird man für sin(φ) eine Taylor-Entwicklung ansetzen müssen. Die Anzahl der Glieder, die bei der Berechnung von a_1 berücksichtigt werden müssen, richtet sich erstens nach der Genauigkeit, die man erreichen möchte und zweitens nach der Größe der Winkelamplitude A, die im Experiment auftritt. Die Rechnung soll zunächst einmal mit der einfachsten (nicht-linearen) Näherung ausgeführt werden, um die grundsätzlichen Eigenschaften der anharmonischen Drehschwingungen kennenzulernen. Es gelte also

(7) $$\sin(\varphi) = \varphi - \frac{1}{6}\varphi^3$$

Man bekommt damit für a_1 aus (3), (6) und (7)

$$a_1 = \frac{\omega}{\pi}\int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} mgr(\varphi\{t\} - \frac{1}{6}\varphi\{t\}^3)\cos(\omega t)dt$$

und mit dem Lösungsansatz (2) für φ

$$a_1 = \frac{\omega}{\pi} mgr\int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} (A\cos^2(\omega t) - \frac{1}{6}A^3\cos^4(\omega t))dt$$

wegen

$$\int \cos^4 x dx = \frac{3}{8}x + \frac{1}{4}\sin(2x) + \frac{1}{32}\sin(4x) + C$$

folgt

$$a_1 = mgr(A - \frac{1}{8}A^3).$$

Damit wird

$$f(\varphi) = \frac{a_1}{A}\varphi = mgr(1 - \frac{1}{8}A^2)\varphi,$$

und man erhält von (1) die Näherung

$$\theta\ddot{\varphi} + R\dot{\varphi} + D\varphi - mgr(1 - \frac{1}{8}A^2)\varphi = M_0\sin(\omega t).$$

Mit der Abkürzung

(8) $$D^* := D - mgr + \frac{1}{8}mgrA^2$$

wird daraus

(9) $$\theta\ddot{\varphi} + R\dot{\varphi} + D^*\varphi = M_0\sin(\omega t).$$

(9) ist eine in φ lineare Differentialgleichung, deren Lösung sich bekanntlich in der Form

(10) $$\varphi(t) = A(\omega)e^{i(\omega t + \Psi\{\omega\})},$$

worin ψ den Winkel zwischen der Phase des Erregers und der des Schwingers bedeutet, schreiben lässt. Die ursprüngliche Nicht-Linearität des Problems zeigt sich hier in einer Amplitudenabhängigkeit des Koeffizienten vor φ.

Von großem Interesse für des Studium der anharmonischen Schwingungen ist zunächst die Abhängigkeit der Amplitude A von der Erregerfrequenz ω. Man erhält sie, wenn man die Lösungsfunktion (10) in (9) einsetzt

$$(-\theta\omega^2 + i\omega R + D^*)Ae^{i(\omega t+\psi)} = M_0 e^{i\omega t}$$

und den Beitrag des so erhaltenen komplexen Gleichung bildet

(11) $$A\sqrt{(D^* - \theta\omega^2)^2 + \omega^2 R^2} = M_0 .$$

Wenn man jetzt die ursprüngliche Bedeutung der Größe D* aus (8) in (11) einsetzt, erhält man eine Gleichung 3. Grades für A^2:

(12) $$A^2\left\{\left(D - mgr + \frac{1}{8}mgrA^2 - \theta\omega^2\right)^2 + \omega^2 R^2\right\} = M_0^2 .$$

Der aufgrund der Beziehung (12) kompliziert erscheinende Zusammenhang zwischen A und ω soll im folgenden diskutiert werden: Geht man zunächst von niedrigen Frequenzen aus, so dass die Terme mit ω^4 und ω^2 in (12) vernachlässigt werden können, dann gilt

$$A(D - mgr + \frac{1}{8}mgrA^2) \approx M_0$$

Wählt man auch M_0 nicht zu groß, dann wird schließlich

$$\frac{1}{8}mgrA^2 << D - mgr ,$$

und es zeigt sich, dass für $\omega \to 0$ die Amplitude dem Grenzwert

$$\lim_{\omega \to \infty} A = \frac{M_0}{D - mgr}$$

zustrebt. Für $\omega \to \infty$ überwiegt das Glied $\theta^2\omega^4$ in (12). Damit (12) endlich bleibt, muss daher A^2 für $\omega \to \infty$ gegen 0 gehen. Im Grenzfall sehr kleiner und sehr großer Frequenzen ergibt sich also eine Frequenzabhängigkeit der Amplitude, wie man sie von den linearen Schwingungen her kennt. Wesentliche Abweichungen treten bei mittleren Frequenzen auf, wo keine Terme in (12) vernachlässigt werden können. Da (12) eine Gleichung 3. Grades für A^2 darstellt, müssen da $A \geq 0$ ist, im allgemeinen 3 Lösungen für A bei einer gegebenen Kreisfrequenz existieren. Im einfachsten Fall wird daher die Frequenzabhängigkeit der Amplitude einer anharmonischen Schwingung eine der beiden in Abb.3 dargestellten Gestalten haben. Es zeigt sich jedoch, dass nicht der gesamte Kurvenverlauf in Abb. 3 physikalisch real ist.

Bewegt man sich beispielsweise in Abb. 4a von $\omega = 0$ kommend in Richtung wachsender Frequenz, so gelangt man bis zu einem Punkt A*, wo die Kurve eine vertikale Tangente besitzt. An dieser Stelle „springt" die Amplitude unstetig auf den unteren Teil der Kurve zum Punkt A**. Das gestrichelt gezeichnete Kurvenstück von A* nach A** beschreibt einen instabilen Bewegungszustand des Systems. Es kann nicht durchlaufen werden. Ein entsprechendes Verhalten beobachtet man, wenn man sich gemäß Abb. 4b von hohen Frequenzen kommend dem Punkt A´ nähert, wo die Kurve ebenfalls eine vertikale Tangente besitzt. Hier springt die Amplitude auf den Wert A´´ hoch, um dann längs der Kurve bis zum Wert M_0/(D-mgr) abzunehmen. Es bleibt anzumerken, das es sich bei der in Abb. 3 und 4 dargestellten Größe A um die stationäre Amplitude handelt, die sich für $t \to \infty$ nach dem Abklingen der Einschwingungsvorgänge ausbildet.

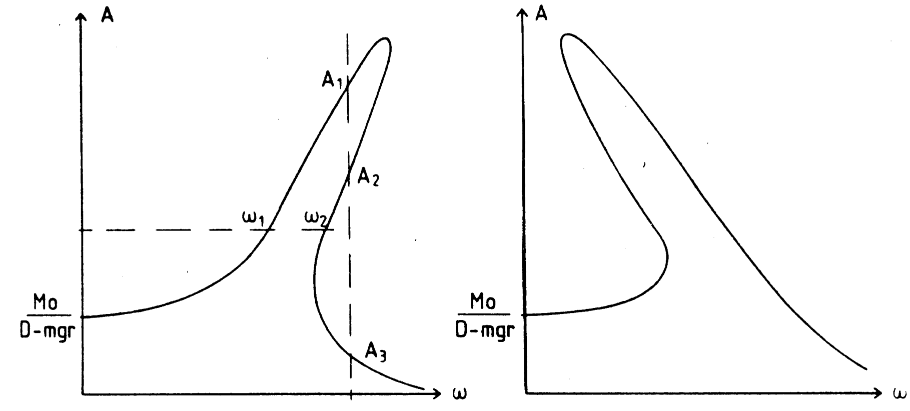


Abb.3

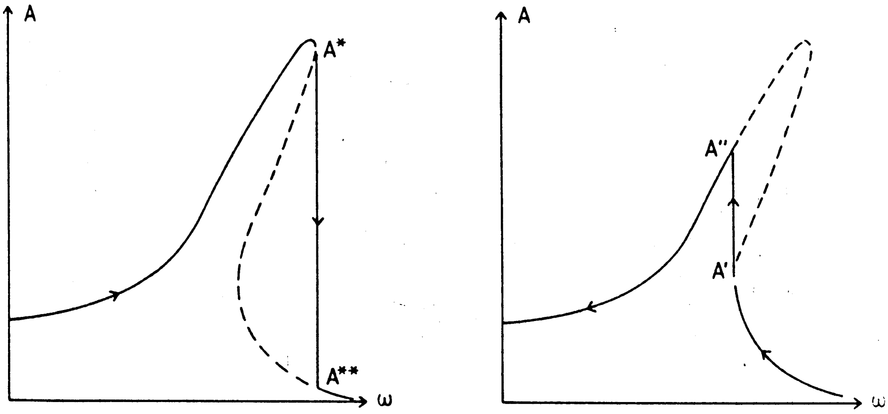


Abb.4a Abb.4b

Für die numerische Berechnung der Amplitudenkurve nach Abb. 3 ist es zweckmäßiger, die Gleichung (11) nach ω^2 aufzulösen, da (11) quadratisch in ω^2 ist. Man berechnet also zu einer gegebenen Amplitude die zugehörigen Frequenzen. Es ergibt sich nun

$$\omega_{1/2}^2 = \frac{D^*}{\theta} - \frac{R^2}{2\theta^2} \pm \sqrt{\left\{\frac{D^*}{\theta} - \frac{R^2}{2\theta^2}\right\}^2 - \frac{D^{*2}}{\theta^2} + \frac{M_0^2}{A^2\theta^2}}$$

oder wenn man die Abkürzung D* durch den vollständigen Ausdruck (8) ersetzt

$$\omega_{1/2}^2 = \frac{1}{\theta}\left\{D - mgr + \frac{1}{8}mgrA^2 - \frac{R^2}{2\theta} \pm \sqrt{\frac{mgrR^2}{\theta} - \frac{DR^2}{\theta} - \frac{mgrR^2}{8\theta}A^2 + \frac{R^4}{4\theta^2} + \frac{M_0^2}{A^2}}\right\} \tag{13}$$

Man erkennt an (13), dass im allgemeinen für ω^2 und damit auch für ω (da $\omega \geq 0$) bei gegebenem A zwei Lösungen existieren (siehe Abb. 3). Für sehr kleine A wächst jedoch der Term M_0^2/A^2 und damit der Radikand in (13) über alle Grenzen. In diesem Falle liefert nur noch das positive Vorzeichen vor der Wurzel eine physikalisch sinnvolle Lösung; das heißt, bei hinreichend hohen Frequenzen existierst zu jedem A nur ein ω. Weiterhin lässt sich aus (13) folgern, dass A beschränkt sein muss; denn mit wachsendem A wird wegen des Gliedes $-\frac{1}{8}\frac{mgrR^2}{\theta}A^2$ der Radikand irgendwann negativ. Den Maximalwert von A erreicht man an der Stelle, wo der Radikand gerade verschwindet. Das ergibt folgende Bestimmungsgleichung für A_{max}

$$mgrA_{max}^4 + 8\left\{D - mgr - \frac{R^2}{4\theta}\right\}A_{max}^2 - 8\frac{\theta}{R^2}M_0^2 = 0$$

Schließlich ist auch noch das Frequenzverhalten der Phase ψ zwischen Erreger und Schwinger bei der Diskussion anharmonischer Schwingungen von Interesse. Zur Berechnung von ψ setzt man die Lösungsfunktion (10) in die Bewegungsgleichung (9) ein und bekommt

$$\left(-\theta\omega^2 A + i\omega RA + D^*A\right)\left(\cos(\omega t + \Psi) + i\sin(\omega t + \Psi)\right) = M_0\cos(\omega t) + iM_0\sin(\omega t)$$

Für den Realteil gilt somit die Beziehung

(14) $$-\theta\omega^2 A\cos(\omega t + \Psi) + D^*A\cos(\omega t + \Psi) - \omega RA\sin(\omega t + \Psi) = M_0\sin(\omega t)$$

Die Gleichung (14) muss für alle t gültig sein. So folgt zum Beispiel für $\omega t = \pi/2$

$$\left(\theta\omega^2 A - D^*A\right)\sin(\Psi) - \omega RA\cos(\Psi) = 0$$

oder

$$\tan(\Psi) = \frac{\omega R}{\theta\omega^2 - D^*}$$

Man kann jetzt noch D* durch (8) ausdrücken und bekommt schließlich

(15) $$\Psi = \arctan\left(\frac{\omega R}{\theta\omega^2 - D + mgr - \frac{1}{8}mgrA^2}\right)$$

Man erkennt an (15), dass das Ziel, ψ als Funktion von ω darzustellen, nicht erreichbar ist, da für A nur eine implizite Bestimmungsgleichung, nämlich (12), existiert. Zur numerischen Berechnung von ψ wird man daher A vorgeben müssen, daraus nach (13) ω errechnen und die erhaltenen Wertepaare (ω,A) in (15) einsetzen. Wie schon zuvor erwähnt, gibt es für viele (aber nicht alle) A-Werte jeweils zwei Frequenzen, die durch das alternierende Vorzeichen vor der Wurzel in (13) bedingt sind. Man bekommt daher bei der Berechnung von $\psi = F(\omega)$ zwei Kurvenäste heraus, die unterschiedliche Frequenzbereiche abdecken. Für das Frequenzintervall $0 \le \omega \le \omega min$ ist Gleichung (13) mit der negativen Wurzel zu verwenden, für den Bereich $\omega_{max} \le \omega \le \infty$ ist hingegen die positive Wurzel erforderlich. Es zeigt sich, dass ω_{max} zumeist kleiner als ωmin ist, woraus folgt, dass für bestimmte Frequenzen mindestens zwei Phasenwerte existieren müssen. Es werden daher auch in der Phasenkurve instabile Bereiche auftreten, die vom Schwingungssystem nicht durchlaufen werden können.

Weiterhin ist zu beachten, dass die arctan-Funktion vieldeutig ist. Zu jedem x gibt es unendlich viele ψ-Werte, die die Gleichung $\psi = \arctan(x)$ erfüllen, diese unterscheiden sich alle um ganzzahlige Vielfache von π. Das bedeutet: Die Phase zwischen Schwinger und Erreger ist durch (15) nicht eindeutig festgelegt. Es zeigt sich aber, dass wie bei einem linearen Schwingungssystem für $\omega \to 0$ $\psi \to 0$ und für $\omega \to \infty$ $|\psi| \to \pi$ geht. Um die oben erwähnten Kurvenäste aneinander anzuschließen, ist es zweckmäßig von allen Winkelwerten, die man aus (15) unter Verwendung der positiven Wurzel erhält, π abzuziehen.

4. Aufgabe

Man messe Amplitude und Phase einer anharmonischen Drehschwingung in Abhängigkeit von der Frequenz und vergleiche die Messergebnisse mit gerechneten Werten. Von Interesse ist dabei der Frequenzbereich von 0,25 bis 0,75 Hz. Es ist jeweils eine Messung mit wachsender und eine mit fallender Frequenz erforderlich. Bei der Wirbelstrombremse stelle man einen Feldstrom von I = 230 mA ein.

5. Angaben zur Apparatur

Eine Prinzipskizze der Apparatur ist in Abb. 2 wiedergegeben. Der Antrieb des Schwingers erfolgt durch einen Gleichstrommotor, der aus einem spannungsgeregelten Netzteil gespeist wird. Die Periodendauer T des Treibers lässt sich mit Hilfe einer Gabellichtschranke, die am Exzenter montiert ist, und einer elektronischen Zeitmessvorrichtung bestimmen. Am Steuergerät für das Pohlsche Rad muss für eine T-Messung der Funktionsschalter in der Stellung „Periodendauer des Treibers" stehen. An der Zeitmessvorrichtung befindet sich ebenfalls ein Funktionswahlschalter. Dieser muss für die oben genannte Messung in der Stellung „PERIOD-B" stehen. Eine ausreichende Auflösung erreicht man mit einer Zeitbasis von 1 ms. Die Amplitude muss an einer Winkelskala abgelesen werden, die (leider) eine willkürliche Skalenteilung besitzt. Der Umrechnungsfaktor lautet: 1Skt := 0,1257 rad. Es ist notwendig, die Ausschläge des Schwingers links und rechts vom Nullpunkt abzulesen und als Amplitude den Wert

$$A = 1/2\,(\varphi_l + \varphi_r)$$

anzugeben. Unmittelbar nach einer Änderung der Drehzahl des Treibermotors ist es nicht sinnvoll, die Schwingungsamplitude abzulesen, da zunächst die Einschwingvorgänge abklingen müssen, ehe A einen stationären Wert annimmt. Wegen der relativ hohen Periodendauer von $T > 1$ s und der niedrigen Dämpfung können sich die Einschwingvorgänge über einen Zeitraum von 1 bis 2 min erstrecken. Während dieser Zeit ist die Momentanamplitude stärkeren Schwankungen unterworfen.

Eine unmittelbare Messung von ψ ist mit der vorliegenden Apparatur leider nicht möglich. Sie gestattet nur, den Zeitraum ΔT zu messen, der zwischen den Nulldurchgängen vor Treiber und Schwinger auftritt. Zu diesem Zweck ist am Schwinger eine weitere Gabellichtschranke angebracht, die genau dann einen elektrischen Impuls (hier „Stoppimpuls" genannt) an den Zeitmesser liefert, wenn die Schwungscheibe durch ihre Gleichgewichtslage geht. Um ΔT zu messen, bringt man erstens den Schalter am Steuergerät in die Stellung „Zeitdifferenz der Nulldurchgänge von Treiber und Rad" und zweitens den Funktionswähler am Zeitmesser in die Stellung „T.INT.-B-C". Der Multiplikator sollte auf „10°" stehen. die gesuchte Phase ψ ergibt sich dann aus ΔT zu

$$\psi = 2\pi\,\Delta T/T \quad \text{bzw.} \quad \psi = 360\,\Delta T/T.$$

6. Bestimmung von apparativen Kenngrößen

Um die Amplituden- und Phasenkurven berechnen zu können, müssen einige Parameter in den maßgebenden Gleichungen (13) und (15) bekannt sein. Diese sind nur durch zusätzliche Messungen zu bestimmen. Im einzelnen handelt es sich im das Trägheitsmoment θ_0 der Schwungscheibe, die Federkonstante D, die Masse m des Ballastkörpers, seinen Abstand r von der Drehachse, den Reibungskoeffizienten R und die Amplitude M_0 des antreibenden Drehmoments.

Die Größe r kann an der vorhandenen Apparatur nicht verändert werden. Sie beträgt r = 98 mm. Die Masse m lässt sich mit einer Waage bestimmen.

Die Federkonstante D bekommt man aus einer Messreihe, bei der man die Spiralfeder durch Montage von Zusatzgewichten $m_i g$ an der Peripherie der Schwungscheibe elastisch verformt und die statische Auslenkung des Rades in Abhängigkeit von m_i abliest (siehe Abb. 5).

Der Gleichgewichtszustand des Systems ist gegeben durch

$$D\overline{\varphi}_i = m_i g r \sin(\overline{\varphi}_i)$$

worin

$$\overline{\varphi}_i = \frac{1}{2}\left(\varphi_{l_i} + \varphi_{r_i}\right)$$

bedeutet. Man variiere m_i zwischen 30 und 65 g, errechne D_i aus

$$D_i = m_i g r \frac{\sin(\overline{\varphi}_i)}{\varphi_i}$$

und bilde den Mittelwert aus den Einzelergebnissen.

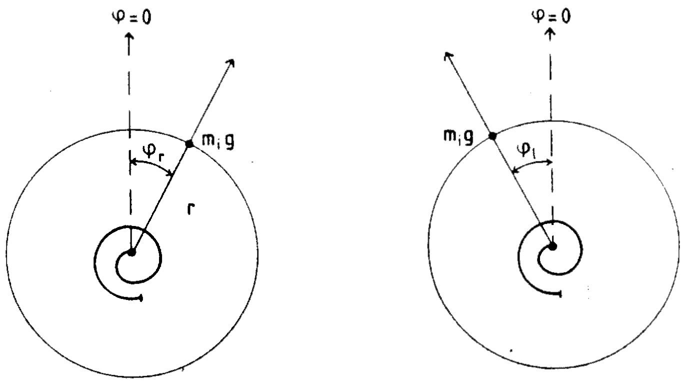


Abb. 5

Wenn D bekannt ist, lässt sich θ_0 aus einer Periodendauermessung T_0 errechnen. Es gilt (siehe z. B. V 102, p. 4)

(16) $$T_0^2 = 4\pi^2 \frac{\theta_0}{D}.$$

Zur Messung von T_0 wird die an der Schwungscheibe montierte Gabellichtschranke an das Zeitmessgerät geschaltet. Dazu muss der Schalter am Steuergerät in die Stellung „Schwingungsdauer des Rades" gebracht werden, während der Funktionswahlschalter am Zeitmesser in der Position „PERIOD-B" stehen muss. Da (16) nur für harmonische Schwingungen gültig ist, muss vor Beginn dieser Messung das Zusatzgewicht mg entfernt werden. In die Gleichung (15) hat man jedoch das Trägheitsmoment θ des gesamten schwingenden Systems einzusetzen. Dieses setzt sich zusammen aus θ_0 und dem Trägheitsmoment θ_z, das durch die Befestigung der Zusatzmasse m an der Schwungscheibe entsteht. Da man m näherungsweise als punktförmig annehmen darf, gilt nach dem Steinerschen Satz

$$\theta_Z = mr^2$$

und damit

$$\theta = \theta_0 + mr^2$$

Die Amplitude M_0 des Erregers bestimmt man ebenfalls aus einer Messung an einer harmonischen Schwingung (m = 0). Hier muss jedoch ω so niedrig gemacht werden, dass $\ddot{\varphi} \approx 0$ und $\dot{\varphi} \approx 0$ sind. Ein Wert von $\nu \approx 0{,}1$ Hz ist ausreichend niedrig. Die Bewegungsgleichung (9) vereinfacht sich unter diesen Voraussetzungen zu

$$D\varphi = M_0 \sin(\omega t)$$

oder

(17) $$DA_0 \sin(\omega t) = M_0 \sin(\omega t).$$

Man kann somit M_0 gemäß (17) aus der Federkonstanten D und der quasistatischen Amplitude A_0 errechnen.

Etwas mehr Aufwand erfordert es, die Dämpfungskonstante R zu bestimmen. Hier wird ebenfalls eine harmonische Schwingung untersucht. Vor Beginn der Messreihe stellt man den geforderten Feldstrom für die Wirbelstrombremse ein. Sodann regt man das System zu einer freien, gedämpften Schwingung an, indem man die Schwungscheibe mit der Hand um ca. 180° aus der Ruhelage dreht. Man misst nun die Amplitude A(t) in Abhängigkeit von der Zeit t. Mit den erhaltenen Wertepaaren {ln A(t), t} führt man eine lineare Ausgleichsrechnung durch. Da die Lösung der für die freie Schwingung gültigen Bewegungsgleichung

$$\theta\ddot{\varphi} + R\dot{\varphi} + D\varphi = 0$$

bekanntlich die Gestalt

$$\varphi(t) = A_f \exp\left\{-\frac{R}{2\theta_0}t\right\}\cos\frac{2\pi}{T_f}t \quad (18)$$ [3]

hat (siehe z. B. V 354), liefert die Regression das Ergebnis

$$\alpha = \frac{R}{2\theta_D}$$

aus dem sich R errechnen lässt. Vor Beginn der Rechnung trage man in einem Diagramm lnA gegen t auf um festzustellen, ob systematische Abweichungen von der Beziehung (18) zu erkennen sind. Solche sind insbesondere bei kleinen Amplituden zu erwarten, da hier die Haftreibung in den Lagern dominiert, welche nicht geschwindigkeitsproportional ist. Anhand des Diagramms entscheide man, welche Messwertepaare bei der Regression nicht berücksichtigt werden sollen.

7. Hinweise zur Auswertung

Man trage in einem linearen Diagramm die Maßwerte der Amplitude A (Maßeinheit: rad) gegen die Frequenz ν auf, wobei die Messpunkte, die bei einer Messung mit wachsender Frequenz gewonnen wurden, anders gekennzeichnet werden sollten als diejenigen, die aus einer Messreihe mit fallender Frequenz stammen. Ein entsprechendes Diagramm zeichne man für die Phase ψ. In die Diagramme trage man außerdem die aus den Formeln (13) und (15) errechneten Kurven ein. Wie gut ist die Übereinstimmung? Treten in bestimmten Frequenzbereichen systematischen Abweichungen auf? Eine mögliche Ursache dafür könnte in der unzureichenden Näherung (7) begründet sein. So beträgt z. B. der Fehler der Näherung (7) bei $A = \pi/2$ nur -7,5%, bei $A = 2$ bereits -27 % und bei $A = 2{,}5$ sogar -117%. Daraus kann sich die Notwendigkeit ergeben, mit höheren Näherungen für die sin-Funktion zu rechnen zum Beispiel mit

$$\sin(\varphi) = \varphi - \frac{1}{3!}\varphi^3 + \frac{1}{5!}\varphi^5 \quad (19)$$

Es müsste dann a_1 aus (6) neu bestimmt werden. Im Falle der Näherung (19) wäre a_1 um das Glied

$$\frac{\omega}{\pi}\int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} mgr\frac{1}{120}A^5\cos^6(\omega t)dt$$

zu ergänzen. Wegen

$$\int \cos^6 x dx = \frac{5}{16}x + \frac{15}{64}\sin(2x) + \frac{3}{64}\sin(4x) + \frac{1}{192}\sin(6x) + C$$

ist jetzt

$$a_1 = mgr(A - \frac{1}{8}A^3 + \frac{1}{192}A^5).$$

Literatur

Magnus; Schwingungen; B. G. Teubner 1969

E. Meyer, D. Guicking; Schwingungslehre; F. Vieweg + Sohn 1974

[3] Wobei T_f in guter Näherung dem Wert aus (16) entspricht

VERSUCHSANLEITUNG ZU VERSUCH II (COMPUTERGESTÜTZT)

(Die „traditionelle“ und die „computergestützte“ Anleitung unterscheiden sich nur in wenigen Passagen, die den Versuchsaufbau und die Aufgabenstellung betreffen. Nur diese sind hier dokumentiert.)

2. Beschreibung eines anharmonischen, mechanischen Schwingungssystems.

Am Beispiel eines Drehpendels (sogenanntes Pohlsches Rad) sollen im folgenden nicht-lineare Schwingungsphänomene untersucht werden. Das Gerät (siehe Abb. 2) besteht aus einer gut ausgewuchteten Schwungscheibe aus Kupfer, die sich um eine horizontale Achse drehen kann. Die Scheibe wird durch eine Spiralfeder in einer Gleichgewichtslage gehalten. An der Achse des Drehpendels greift ein reibungsarmer Drehpotentiometer eine zum Auslenkung proportionale Spannung ab. Mittels einer von einem Elektromotor angetriebenen Exzenterscheibe kann das Schwungrad über eine Schubstange und einen Untersetzerhebel zu erzwungenen Schwingungen angeregt werden. Dabei soll das vom Motor auf die Schwungscheibe ausgeübte Drehmoment die Zeitabhängigkeit

$$M(t) = M_2 \sin(\omega t)$$

besitzen. Das an sich lineare Schwingungssystem - das rücktreibende Drehmoment entsteht durch die Deformation einer Spiralfeder, für die das Hooksche Gesetz gilt

$$M_D = D\varphi \quad -$$

(D = Federkonstante, $\varphi = 0 :=$ Gleichgewichtslage)

wird durch die Montage eines nahezu punktförmigen Zusatzgewichtes mg am Rand der Schwungscheibe nicht-linear gemacht; denn das hier durch hervorgerufene Drehmoment hängt gemäß

$$M_G = -mgr \sin(\varphi)$$

nicht-linear vom Auslenkungswinkel φ ab.

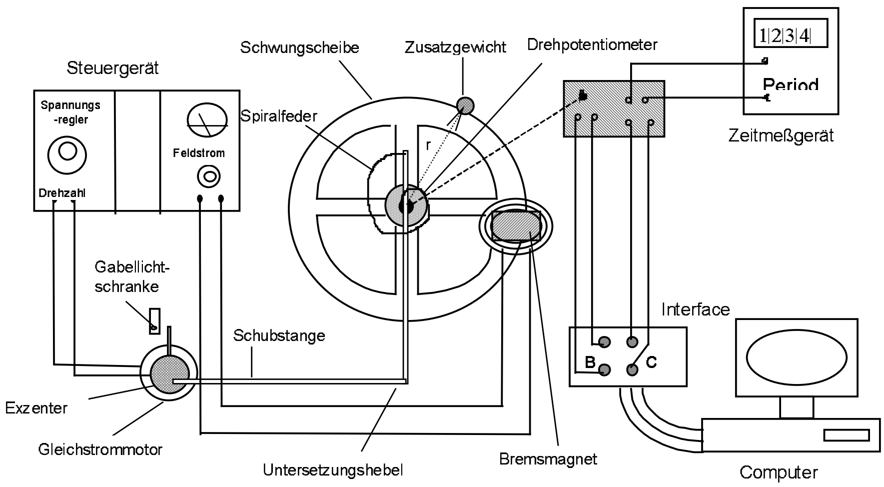


Abb. 2

Zusätzlich zu der zwangsläufig vorhandenen Lagerreibung erzeugt eine Wirbelstrombremse ein weiteres retardierendes Drehmoment. Durch Regelung des Feldstromes I des in Abb. 2 eingezeichneten Bremsmagneten kann man den Betrag der Dämpfung kontinuierlich einstellen. Wegen des Induktionsgesetzes ist das Bremsmoment proportional zur Winkelgeschwindigkeit des Rades

$$M_B = R(I)\ \dot{\varphi}$$

Während der Messung wird R(I) so eingestellt, dass $|M_B|$ viel größer als das durch die Lagerreibung verursachte Bremsmoment ist, welches nicht proportional zu $\dot{\varphi}$ ist.

Wenn θ das Trägheitsmoment des schwingenden Systems ist, lässt sich folgende Bewegungsgleichung für das Pohlsche Rad formulieren

$$\theta\ \ddot{\varphi} + M_D + M_G + M_B = M(t)$$

oder

(1) $$\theta\ \ddot{\varphi} + R\dot{\varphi} + D\varphi - mgr\sin(\varphi) = M_0 \sin(\omega t)$$

stellt eine inhomogene, nicht-lineare Differentialgleichung dar, deren Lösung sich nicht geschlossen darstellen lässt. Um dennoch allgemeine Aussagen über die Gestalt der Lösung machen zu können, wird man sich mit Näherungen begnügen müssen, bei denen eine Integration von (1) möglich ist; das soll im folgenden Kapitel versucht werden.

5. Angaben zur Apparatur

Eine Prinzipskizze der Apparatur ist in Abb. 2 wiedergegeben. Der Antrieb des Schwingers erfolgt durch einen Gleichstrommotor, der aus einem spannungsgeregelten Netzteil gespeist wird. Die Periodendauer T des Treibers lässt sich mit Hilfe einer Gabellichtschranke, die am Exzenter montiert ist, und einer elektronischen Zeitmessvorrichtung bestimmen. Die Amplitude wird als Potentiometerspannung über das Interface an den Computer gegeben. Der Umrechnungsfaktor lautet: 1V := 0,31416 rad. Es ist notwendig, die Ausschläge des Schwingers links und rechts vom Nullpunkt abzulesen und als Amplitude den Wert

$$A = 1/2\ (\varphi_l + \varphi_r)$$

anzugeben. Unmittelbar nach einer Änderung der Drehzahl des Treibermotors ist es nicht sinnvoll, die Schwingungsamplitude abzulesen, da zunächst die Einschwingvorgänge abklingen müssen, ehe A einen stationären Wert annimmt. Wegen der relativ hohen Periodendauer von $T > 1$ s und der niedrigen Dämpfung können sich die Einschwingvorgänge über einen Zeitraum von 1 bis 2 min erstrecken. Während dieser Zeit ist die Momentanamplitude stärkeren Schwankungen unterworfen.

Zur Messung der Phase wird über die Lichtschranke und das Potentiometersteuergerät an den Eingang C des Interfaces immer dann ein Spannungspeak gegeben, wenn der Erreger seinen Nulldurchgang hat. Dieser Peak gestattet es, im Schwingungsdiagramm den Zeitraum ΔT zu messen, der zwischen den Nulldurchgängen vor Treiber und Schwinger auftritt. Die gesuchte Phase ψ ergibt sich dann aus ΔT zu

$$\psi = 2\pi\ \Delta T/T \quad \text{bzw.} \quad \psi = 360\ \Delta T/T.$$

6. Bestimmung von apparativen Kenngrößen

Um die Amplituden- und Phasenkurven berechnen zu können, müssen einige Parameter in den maßgebenden Gleichungen (13) und (15) bekannt sein. Diese sind nur durch zusätzliche Messungen zu bestimmen. Ihre genauen Werte sollen zu Beginn des Versuchs ermittelt werden. Im Einzelnen handelt es sich um das Trägheitsmoment θ_0 der Schwungscheibe, die Federkonstante D, die Masse m des Ballastkörpers, seinen Abstand r von der Drehachse, den Reibungskoeffizienten R und die Amplitude M_0 des antreibenden Drehmomentes.

Die Größe r kann an der vorhandenen Apparatur nicht verändert werden. Sie beträgt r = 98 mm. Die Masse m lässt sich mit einer Waage bestimmen.

Die Federkonstante D bekommt man aus einer Messreihe, bei der man die Spiralfeder durch Montage von Zusatzgewichten m_ig an der Peripherie der Schwungscheibe elastisch verformt, die statische Auslenkung des Rades in Abhängigkeit von m_i misst (siehe Abb. 5) und in eine ORIGIN-Tabelle einträgt. Der Gleichgewichtszustand des Systems ist gegeben durch

$$D\overline{\varphi}_i = m_i gr \sin(\overline{\varphi}_i)$$

worin

$$\overline{\varphi}_i = \frac{1}{2}\left(\varphi_{l_i} + \varphi_{r_i}\right)$$

bedeutet. Man variiere m_i zwischen 30 und 65 g, errechne *sofort* D_i aus

$$D_i = m_i gr \frac{\sin\left(\overline{\varphi}_i\right)}{\varphi_i}$$

und bilde den Mittelwert aus den Einzelergebnissen.

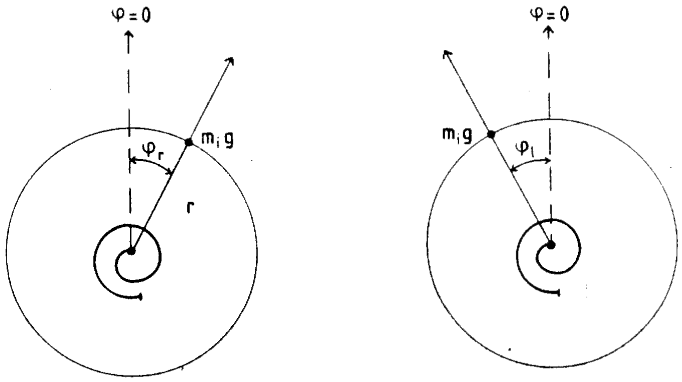


Abb. 5

Wenn D bekannt ist, lässt sich θ_0 aus einer Periodendauermessung T_0 *sofort* errechnen. Es gilt (siehe z. B. V 102, p. 4)

(16) $$T_0^2 = 4\pi^2 \frac{\theta_0}{D}.$$

Die Messung von T_0 erfolgt durch eine Periodendauermessung im Schwingungsdiagramm des Computers. Da (16) nur für harmonische Schwingungen gültig ist, muss vor Beginn dieser Messung das Zusatzgewicht mg entfernt werden. In die Gleichung (15) hat man jedoch das Trägheitsmoment θ des gesamten schwingenden Systems einzusetzen. Dieses setzt sich zusammen aus θ_0 und dem Trägheitsmoment θ_z, das durch die Befestigung der Zusatzmasse m an der Schwungscheibe entsteht. Da man m näherungsweise als punktförmig annehmen darf, gilt nach dem Steinerschen Satz

$$\theta_z = mr^2$$

und damit

$$\theta = \theta_0 + mr^2$$

Die Amplitude M_0 des Erregers bestimmt man ebenfalls aus einer Messung an einer harmonischen Schwingung ($m = 0$). Hier muss jedoch ω so niedrig gemacht werden, dass $\ddot{\varphi} \approx 0$ und $\dot{\varphi} \approx 0$ sind. Ein Wert von $\nu \approx 0{,}1$ Hz ist ausreichend niedrig. Die Bewegungsgleichung (9) vereinfacht sich unter diesen Voraussetzungen zu

$$D\varphi = M_0 \sin(\omega t)$$

oder

(17) $$DA_0 \sin(\omega t) = M_0 \sin(\omega t).$$

Man kann somit M_0 gemäß (17) aus der Federkonstanten D und der quasistatischen Amplitude A_0, die man im Schwingungsdiagramm ausmisst, *sofort* errechnen

Etwas mehr Aufwand erfordert es, die Dämpfungskonstante R zu bestimmen. Hier wird ebenfalls eine harmonische Schwingung untersucht. Vor Beginn der Messreihe stellt man den geforderten Feldstrom für die Wirbelstrombremse ein. Sodann regt man das System zu einer freien, gedämpften Schwingung an, indem man die Schwungscheibe mit der Hand um ca. 180° aus der Ruhelage dreht. Man misst nun die Amplitude A(t) in Abhängigkeit von der Zeit t. Das Schwingungsdiagramm (bzw. die Tabellenwerte) der gedämpften Schwingung übertrage man in ORIGIN, stelle die Wertepaare {A(t), t} halblogarithmisch dar und führe eine lineare Ausgleichsrechnung durch. Da die Lösung der für die freie Schwingung gültigen Bewegungsgleichung

$$\theta\ddot{\varphi} + R\dot{\varphi} + D\varphi = 0$$

bekanntlich die Gestalt

(18) $$\varphi(t) = A_f \exp\left\{-\frac{R}{2\theta_0}t\right\}\cos\frac{2\pi}{T_f}t \quad {}^{*)}$$

hat (siehe z. B. V 354), liefert die Regression das Ergebnis

$$\alpha = \frac{R}{2\theta_0}$$

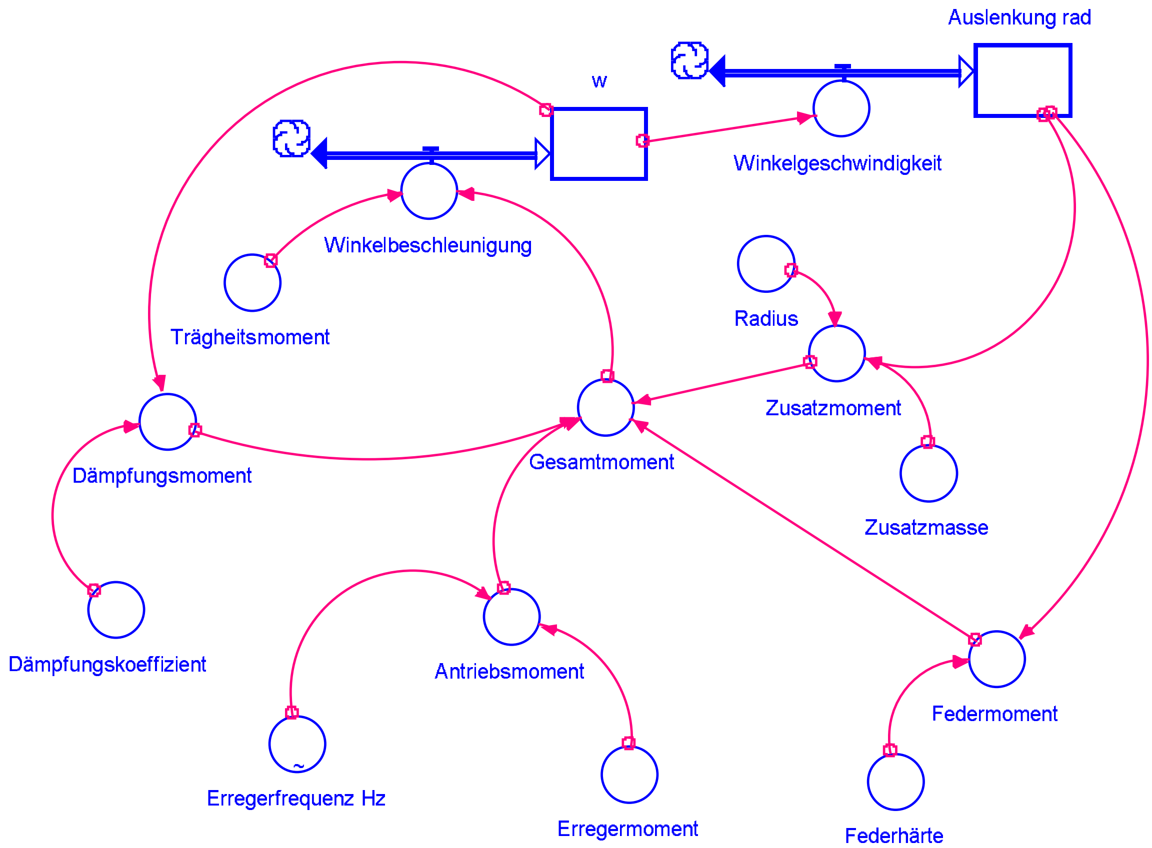
aus dem sich R errechnen lässt. Man führe die Berechnung von R *sofort* aus und stelle dabei auch fest, ob systematische Abweichungen von der Beziehung (18) zu erkennen sind. Solche sind insbesondere bei kleinen Amplituden zu erwarten, da hier die Haftreibung in den Lagern dominiert, welche nicht geschwindigkeitsproportional ist. Anhand des Diagramms entscheide man, welche Messwertepaare bei der Regression nicht berücksichtigt werden sollen.

---

*) Wobei T_f in guter Näherung dem Wert aus (16) entspricht

STELLA-MODELL ZU VERSUCH II

Graphische Programmebene:



Formale Programmebene:

Auslenkung_rad(t) = Auslenkung_rad(t - dt) + (Winkelgeschwindigkeit) * dt
INIT Auslenkung_rad = 0
INFLOWS:
Winkelgeschwindigkeit = w
w(t) = w(t - dt) + (Winkelbeschleunigung) * dt
INIT w = 0
INFLOWS:
Winkelbeschleunigung = Gesamtmoment/Trägheitsmoment
Antriebsmoment = Erregermoment*SIN(2*PI*Erregerfrequenz_Hz*TIME) {J}
Dämpfungskoeffizient = 0.000141{kgm^2/s}
Dämpfungsmoment = -Dämpfungskoeffizient*w {J}
Erregermoment = 0.00145 {J}
Federhärte = 0.02884 {J}
Federmoment = -Federhärte*Auslenkung_rad {J}
Gesamtmoment = Antriebsmoment+Dämpfungsmoment+Federmoment+Zusatzmoment
Radius = 0.098 {m}
Trägheitsmoment = 0.001596 {kgm^2}
Zusatzmasse = 0.0156 {kg}
Zusatzmoment = Zusatzmasse*9.81*Radius*SIN(Auslenkung_rad) {J}
Erregerfrequenz_Hz = GRAPH(TIME)
(0.00, 0.4), (180, 0.45), (360, 0.5), (540, 0.55), (720, 0.6), (900, 0.65), (1080, 0.65)

Anhang 2

- Fragebogen zu Computerkenntnissen

COMPUTERFRAGEBOGEN

Ich habe einen Computer zu Hause

stimmt □ *stimmt nicht* □

Ich arbeite mit dem Computer

regelmäßig □ *ab und zu* □ *nie* □

Ich arbeite gerne mit dem Computer

ja □ *geht so* □ *nein* □

Ich komme mit der Maus klar

gut □ *geht so* □ *überhaupt nicht* □ *weiß nicht* □

Ich komme mit Windows klar

gut □ *geht so* □ *überhaupt nicht* □ *weiß nicht* □

Ich arbeite mit dem Computer wie folgt *(zutreffendes ankreuzen)*:

Textverarbeitung/Schreiben □ *Programmieren* □ *Spielen* □

Zeichnen/Entwerfen □ *Tabellenkalkulation/Mathematikprogramme* □

Ich kenne die Programme *(zutreffendes ankreuzen)*:

Word □ *Excel* □ *Latex* □ *Origin* □ *Cassy* □ *Stella* □ *Netscape* □

Ich kann umgehen mit den Programmen *(zutreffendes ankreuzen)*:

Word □ *Excel* □ *Latex* □ *Origin* □ *Cassy* □ *Stella* □ *Netscape* □

Ich benutze E-Mail

stimmt □ *stimmt nicht* □

Im Physikstudium sollte mehr mit Computern gemacht werden

stimmt □ *stimmt nicht* □

In welcher Form ? ....

....

Anhang 3 (zur Videoanalyse)

- Kategoriesystem A zur Analyse der Tätigkeiten
- Kategoriesystem B zur Analyse der Sprechhandlungen
- Fallbeispiele für die Anwendung der Kategorien B

KATEGORIESYSTEM ZUR ERFASSUNG DER TÄTIGKEITEN

Kategorie X (versuchsfremde Aktivitäten)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn tut etwas, das nichts mit dem Versuch zu tun hat und ihre Aufmerksamkeit ist nicht auf das Experiment gerichtet. Trifft auch zu, wenn die Vpn abwesend ist.

Ankerbeispiele
- geht aus dem Raum
- kramt im Rucksack
- (*es läuft Einschwingvorgang*) schaut gelangweilt in die Luft oder woanders hin
- unterhält sich mit Partner über gestern Abend
- bespricht mit einem anderen Tutor das Protokoll von letzter Woche
- sitzt unbeteiligt da

Gegenbeispiele
- (*es läuft Einschwingvorgang*) sagt nichts, aber sieht aufmerksam dem Pendel zu (→ Kategorie ME)

Kriterien für Zweifelsfälle
Es darf nicht sein, dass die Tätigkeit X angekreuzt ist, als Sprechhandlung aber eine andere Kategorie als X. Treten in einem Zeitschritt von 30 Sekunden noch weitere Tätigkeiten auf, so sind diese der Tätigkeit X vorzuziehen.

sonstiges
Abwesenheit wird zusätzlich gekennzeichnet.

Kategorie 3P (Dritte Person)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn unterhält sich mit dem Tutor oder mit anderen Studierenden. Trifft auch zu, wenn der Tutor eine Tätigkeit ausführt und die Vpn sich dazu äußert.

Ankerbeispiele
- Tutor hilft, ein technisches Problem zu lösen
- Tutor fragt nach etwas
- andere Studierende kommen hinzu und fragen etwas zum Versuch
- Tutor stellt etwas am Versuchsaufbau ein, und die Vpn fragt ihn etwas

Gegenbeispiele
- Tutor steht dabei und spricht, die Vpn sagt aber nichts und setzt ihre Tätigkeit fort (→ der Tätigkeit entsprechende Kategorie)

Kriterien für Zweifelsfälle
Hätte die Vpn das auch getan bzw. gesagt, wenn die dritte Person nicht da gewesen wäre? Wenn ja → andere Kategorie. Treten in einem Zeitschritt von 30 Sekunden noch weitere Tätigkeiten auf, die etwa die gleiche Zeit einnehmen, so sind diese (außer im Fall von X oder CMA) der Tätigkeit 3P vorzuziehen.

Kategorie LG (Labguide)

Beschreibung/ Abgrenzung
Vpn liest in/beschäftigt sich mit der Praktikumsanleitung.

Ankerbeispiele
- schlägt etwas in der Anleitung nach
- liest etwas daraus vor

Gegenbeispiele
- blickt nur kurz (zwei, drei Sekunden) in die Anleitung und wendet sich wieder dem Messen zu (→ Kategorie ME)

Kategorie SL (Schreiben/Lesen)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn liest (nicht in der Anleitung!) oder schreibt Text oder Datenreihen ab bzw. auf, oder fertig eine Wertetabelle an.

Ankerbeispiele
- liest Sätze aus dem Versuchsprotokoll vor
- schreibt Messwerte vom Bildschirm ab
- diktiert etwas (z.B. Messwerte)
- tippt Werte vom Blatt in den Computer ein
- schreibt am Versuchsprotokoll
- fertigt Wertetabelle an

Gegenbeispiele
- Messwerte vom Messgerät ablesen und aufschreiben (→ Kategorie ME)
- Rechnet etwas aus, z.B. mit dem Taschenrechner (→ DM)
- zeichnet einen Graphen (→ DM)
- liest in der Anleitung (→ LG)
- schaut beim Einschwingvorgang aufs Pendel und liest auf der Skala ab (→ ME)

Kategorie MA (Manipulieren)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn hantiert mit oder manipuliert an den Geräten und Objekten des Versuchsaufbaus. Die Vpn bereitet eine Messung vor. Die Vpn macht eine kurze Kontrollmessung, z.B. liest zur Probe einige Werte ab, ohne sie festzuhalten. Die Vpn ändert Einstellungen der Parameter der Messung oder der Simulation. Trifft auch auf die Einstellung von Messbereichen in CASSY und auf das Einstellen von Simulationsbereichen in STELLA zu.

Ankerbeispiele
- stellt Messbereich ein
- baut Schaltung auf
- bewegt Geräte auf dem Tisch
- (*in STELLA*) stellt Simulationsdauer ein
- ändert den Zeitschritt der Messwertaufnahme in CASSY

Gegenbeispiele
- Messung (→ ME)
- (*mit Computer*) kopieren (→ CMA)
- (*mit Computer*) Datei abspeichern (→ CMA)

Kriterien für Zweifelsfälle
Macht die Vpn eine Handbewegung zur Apparatur? Wenn nein → andere Kategorie.

Kategorie ME (Messen)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn nimmt systematisch Messwerte auf, d. h. Messwerte werden abgelesen und schriftlich oder verbal festgehalten bzw. bewertet. In der Regel geht eine Manipulationsphase (MA) voraus. Auch Probemessungen fallen unter die Kategorie ME, wenn sie länger als nur einige Sekunden dauern. In STELLA trifft die Kategorie zu, wenn eine Simulation durchgeführt wird (Befehl *model run*). Das Abwarten von Einschwingvorgängen fällt unter diese Kategorie, wenn dabei die Vpn ihre Aufmerksamkeit auf das Experiment richtet und keine der anderen Tätigkeitskategorien zutrifft.

Ankerbeispiele
- liest systematisch Messwerte ab
- betrachtet eine aufgenommene Kurve oder Messreihe

- sieht auf den Bildschirm während die Computermessung läuft
- liest Pendelausschlag ab und schreibt Wert auf
- liest Messwerte ab und tippt sie in den Taschenrechner ein
- (*es läuft der Einschwingvorgang*) schaut interessiert auf das Pendel
- kopiert die Messwerte von CASSY nach ORIGIN

Gegenbeispiele
- wird beim Ablesen stutzig und dreht an Einstellknöpfen (→ Kategorie MA)
- macht nur eine kurze Probemessung und wendet sich dann wieder dem Einstellen an der Apparatur zu (→ MA)

Kriterien für Zweifelsfälle
Verläuft die Werteaufnahme verläuft problemlos (d.h. die Apparatur „tut was sie soll")? Wenn nein → überprüfen, ob MA zutrifft (siehe zweites Gegenbeispiel). Ist nicht entscheidbar, ob MA oder ME zutrifft, so ist ME anzukreuzen.

Kategorie DM (Datenmanipulation; Auswertearbeiten)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn tut etwas mit bereits aufgenommenen Messwerten oder anderen Daten (etwa in der Anleitung vorgegebenen Werten). Die Vpn rechnet (etwa mit Taschenrechner) oder beschäftigt sich mit Formeln. Ansonsten alle schreib- oder leseähnlichen Aktivitäten, die nicht unter die Kategorie SL fallen.

Ankerbeispiele
- zeichnet einen Graphen
- selektiert Werte aus der Messtabelle und schneidet sie aus
- fertigt einen Graph mit ORIGIN an
- rechnet mit dem Taschenrechner
- rechnet Werte oder Größen um
- benutzt den Formeleditor in ORIGIN
- mittelt Werte

Gegenbeispiele
- (*mit Computer*) kopiert Werte irgendwo anders hin (→ Kategorie CMA)
- tippt Messwerte in Taschenrechner ein (→ ME oder SL)

Kriterien für Zweifelsfälle
Entscheidend ist, dass Daten oder Symbole in ihrer Darstellungsform (Darstellung als Graph statt als Tabelle, Umformen einer Formel,...) oder in ihrem Betrag (etwa durch umrechnen in eine andere Einheit) manipuliert werden.

Kategorie MB (Modellbildung)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn etabliert oder verändert die physikalischen Beziehungen im STELLA-Modell. Bei anderen Aktivitäten in STELLA gilt eine der Kategorien MA, ME oder CMA.

Ankerbeispiele
- (in STELLA) legt eine Beziehung zwischen physikalischen Größen fest bzw. gibt eine Formel ein
- (in STELLA) kreiert ein neues Symbol und definiert es

Gegenbeispiele
- (in STELLA) verschiebt Symbole auf der Programmoberfläche (→ CMA)
- (in STELLA) ändert Parameterwerte (→ MA)
- (in STELLA) legt Grenzen der Simulation fest (→ MA)
- (in STELLA) führt Simulation durch (Befehl *model run*) (→ ME)

Kategorie CMA (Computermanipulation)

Beschreibung/ Abgrenzung	Die Vpn führt computerbedingte bzw. softwarebezogene Aktivitäten aus. Trifft auch auf durch Softwareunkenntnis verursachte Verzögerungen zu.
Ankerbeispiele	o speichert Datei ab o sucht Formeleditor o ändert *biflow*- oder der *non-negative*-Einstellung in STELLA o klickt Fenster auf und zu, um etwas zu suchen o wiederholt eine Operation, weil der falsche Knopf angeklickt wurde o durchsucht Menüleiste nach einer bestimmten Operation o (in STELLA) ordnet die Objekte auf der Oberfläche anders an o kopiert Messwerte von einer Tabelle in eine andere
Gegenbeispiele	o manipuliert Messwerte (→ Kategorie DM) o (in CASSY, STELLA) stellt Messbereich bzw. Simulationsbereich ein (→ MA) o ändert das numerische Verfahren oder die Dauer der Simulation (→ MA) o (in STELLA) ändert Parameterwerte (→ MA)
Kriterien für Zweifelsfälle	Könnte die Aktivität auch im traditionellen Praktikum vorkommen? Wenn ja → andere Kategorie. Treten in einem Zeitschritt von 30 Sekunden noch weitere Tätigkeiten auf, so sind diese (außer im Fall von X) der Tätigkeit CMA vorzuziehen.

KATEGORIESYSTEM ZUR ERFASSUNG DER SPRECHHANDLUNGEN

Bei der Beschreibung der einzelnen Kategorien werden keine Beispiele aufgeführt. Eine ausführliche Liste mit Fallbeispielen aus den Videodaten, die auch für das Beobachtertraining verwendet wurde, befindet sich im Anschluss an die Kategoriebeschreibungen (Seite 201).

Kategorie O (Objekt, Ereignis, Handlungsprogramm)

Beschreibung/ Abgrenzung

Die Vpn führt eine experimentierbezogene Sprechhandlung aus, d.h. sie bezieht sich auf ein Objekt oder ein Ereignis des Versuchs, oder äußert ein entsprechendes Handlungsprogramm. Die Vpn liest Werte auf Anzeigen auf Messgeräten ab. Bei der STELLA-Benutzung trifft die Kategorie nur zu, wenn sich die Sprechhandlung auf das reale Experiment bezieht. Bei der Versuchsauswertung trifft die Kategorie nur zu, wenn sich die Sprechhandlung in Vergangenheitsform auf das dienstags durchgeführte Experiment bezieht.

Kategorie D (Daten, Formel, Handlungsprogramm)

Beschreibung/ Abgrenzung

Die Vpn führt eine Sprechhandlungen aus, die sich auf bereits aufgenommene Daten oder niedergeschrieben Formeln bezieht oder ein entsprechendes Handlungsprogramm darstellt. Das Ablesen von Werten auf Anzeigen auf Messgeräten (auch Taschenrechner) fällt jedoch in die Kategorie O. Die Kategorie D trifft in der Regel bei Auswertearbeiten, sowie bei Sprechhandlungen während der Benutzung von STELLA.

Kriterien für Zweifelsfälle

Könnte die Sprechhandlung auch geschehen, wenn man einfach die Messdaten oder einen Text (Beschreibung/Anleitung) vorgäbe und die Studierenden damit arbeiten ließe? Wenn ja → Kategorie D trifft zu.

Kategorie M (Messbezogen)

Beschreibung/ Abgrenzung

Der durch diese Kategorie abgedeckte Aspekt des Praktikums ist: Was muss ich wie aufbauen, einstellen, organisieren, berechnen, bewerten, um zu einem guten Ergebnis zu kommen? Die Vpn sagt etwas über die Beziehung zwischen Bauteilen oder verwendet "technische" Konzepte. Die Kategorie trifft zu, wenn sich die Sprechhandlungen mit Genauigkeit, Fehlern/Fehlerrechnung, physikalischen Einheiten, Messwerten, Ergebnissen, Graphen, Kurven, bestimmten mathematischen Konzepten, etc. befassen.

Die Anwendung der Kategorie ist an Indikatoren (bestimmte Begriffe und Situationen) gebunden, deren Auftreten (oder das Auftreten ähnlicher Begriffe) notwendige Bedingung für ein Ankreuzen ist. Die Indikatoren sind unten aufgeführt. Abweichungen müssen abgesprochen werden. Gegenindikatoren sind Begriffe, bei deren Auftreten nicht die Kategorie M, sondern eine andere Kategorie zutrifft.

Indikatoren

Die Kategorie trifft zu...

- immer, wenn es um die Zahl der Messungen (der aufzunehmenden Werte), um Abstände von Messungen, um Messbereiche, etc. geht.
- immer beim Nennen von und beim Bezug auf physikalische Einheiten.
- bei mathematischen Konzepten, die zur Messung gehören (z.B. delta T, halblogarithmisch, lineare Regression, mitteln, Koordinaten,

Gerade, etc; bei Sinus, Kosinus und exponentiell muss je nach Kontext entschieden werden, ob M oder P zutrifft)

- beim Nennen von Symbolen und Formeln (hier ist auch die Kategorie P möglich; im Zweifelsfall wird ausgehandelt)
- beim Begriff "Zeit", wenn er im Zusammenhang mit der Messung benutzt wird (im Gegensatz zu Zeit als physikalischer Größe)
- bei z.B. den Begriffen: messen, bestimmen, Messung, Messreihe, zählen, Wert, Ergebnis, einstellen (auch: hochfahren, runterdrehen, erhöhen, etc.), brauchen, vergleichen, (aus)reichen, genügen, kalibrieren, fit linear (abgelesen in ORIGIN), Regression, streuen, berechnen, genau, Fehlerrechnung, Zeitabstand, Amplitudenschritte, genau, empfindlich, genug, halblogarithmisch, kleinschrittig, numerisch, ungenau, negativ, positiv, parallel/in Reihe geschaltet, Genauigkeit, X/Y-Eingang, Dreieckspannung, Massenverbindung, Plusbereich, Ursprung, Spannungsquelle, Nullpunkt, Zeitschritt, Wechselspannung, Parallaxe, Parallelschaltung, Minuskabel, Trigger, Schutzwiderstand, Messbereich, Achse, Referenzlinie, Wechselspannung, Streuung (von Messwerten), Gate, Start-/Stoppuls, Impuls (elektronischer), Empfindlichkeit, Sensitivität, Mittelwert, Hertz, Frequenzbereich, Zeitdifferenz, Anfangswert, Zehnerpotenz, Promille, Erreger, Ergebnis, lineare Regression, Abweichung, Anfangsauslenkung, Schritte, Polarkoordinaten, Winkel, Zentimeter, Grad, Amplitudenschritte, Anfangsauslenkung, Anfangswert, empfindlich, genügen, Gerade, Spannungsgenerator, Trigger, Wert, Winkel

Gegenindikatoren

Die Kategorie trifft nicht zu...

- wenn z.B. messen oder Wert nur als kurze Aufforderung benutzt werden (z.B. „Gib mir den Wert" oder „Messe mal!")
- bei auch alltäglich benutzten Begriffen oder Objekte/Gegenstände bezeichnenden Begriffen, zum Beispiel: Schalter, Kondensator, Gerät, auslenken, Kabel, Motor, wiegen, Abstand, Generator, Polarkoordinatenpapier, ablesen, untersuchen, Achsenbeschriftung, Wirbelstrombremse, Schaltung, Magnet, Ablesung, Anregung, Eingang, Ausgang, Schwinger, Radius, Diagramm, etc.
- bei Begriffen wie Widerstand oder Zeit, wenn sie als physikalisches Konzept oder Größe gebraucht werden
- wenn nur Beschriftungen von Geräten wiedergegeben werden (z.B. *Zero*, *Record*, *Period A*, etc.)
- bei einfachen Rechenoperationen (addieren, multiplizieren, teilen, Vielfaches,...)

Kriterien für Zweifelsfälle

M ist bisweilen schwierig gegen O /D abzugrenzen. Ist kein Indikator gegeben, wird nicht angekreuzt. Im Zweifelsfall aushandeln.

Kategorie P (Physikbezogen)

Beschreibung/ Abgrenzung

Die Vpn nennt ein physikalisches Konzept bzw. eine physikalische Größe. Trifft auch zu, wenn die Vpn sich verbal auf ein Objekt oder ein Zeichen auf dem Computerbildschirm, das ein physikalisches Konzept oder eine physikalische Größe darstellt, bezieht.
Die Anwendung der Kategorie P ist wie die der Kategorie M an Indikatoren gebunden (s.o.).

Indikatoren

Die Kategorie trifft zu...

- bei mathematischen Konzepten, die physikalische Bedeutung haben

(z.B. sinusmäßig, Differentialgleichung, Ableitung, etc.; bei Sinus oder Kosinus oder exponentiell muss je nach Kontext entschieden werden, ob M oder P zutrifft)

- bei Symbolen und Formeln, sofern sie eindeutig als physikalisches Konzept und nicht als formaler Term benutzt werden
- bei Begriffen wie Zeit oder Widerstand, wenn sie als physikalische Größe benutzt werden
- bei z.B. Begriffen wie: Auslenkung, Hochpass, Sprungfrequenz, Phase, Kondensatorspannung, Phasensprung, Frequenz, Lagerreibung, Phi punkt, Einschwingvorgang, Zustandsgröße, Generatorspannung, gleichphasig, gegenphasig, harmonisch, anharmonisch, sinusmäßig, stationär, periodisch, aufladen, entladen, dämpfen, zeitlicher Verlauf

Kriterien für Zweifelsfälle
Ist weder P noch PP angekreuzt, bedeutet das: Es kommt kein physikalisches Konzept in den Sprechhandlungen vor!

Kategorie PP (Theoriebezogen)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Vpn setzt mindestens zwei physikalische Konzepte in Beziehung, d. h. bezieht sich auf einen physikalischen Zusammenhang. Für physikalische Konzepte gelten die für die Kategorie P getroffenen Festlegungen.

Indikatoren
Die Kategorie trifft zu, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind:

- es treten mindestens zwei Indikatoren der Kategorie P auf.

1. es wird ein Zusammenhang oder eine Abhängigkeit hergestellt durch Ausdrücke wie z.B.: wenn - dann, wird berechnet aus, wegen, ist das gleiche wie, abhängig, Vielfaches von, umrechnen, etc.

Kriterien für Zweifelsfälle
Ist weder P noch PP angekreuzt, bedeutet das: Es kommt kein physikalisches Konzept in den Sprechhandlungen vor!

Kategorie X (Versuchsfremd)

Beschreibung/ Abgrenzung
Die Sprechhandlungen beziehen sich nicht auf den Versuch.

Kriterien für Zweifelsfälle
Ist für die Tätigkeit die Kategorie X angekreuzt? Dann muss auch hier X angekreuzt werden. Wird für die Sprechhandlung die Kategorie X angekreuzt, so darf keine andere Verbal-Kategorie angekreuzt werden!

FALLBEISPIELE FÜR DIE KODIERUNG VON SPRECHHANDLUNGEN

SPRECHHANDLUNG	KODIERUNG
Misst du die Frequenz schon?	M P
Jetzt müssten wir messen können, die Einschwingvorgänge sind vorüber.	M P
Der Anschluss hier gibt in kürzerer Zeit Signale ab.	M
Das hier ist der Ausgang der Lichtschranke.	M
Die Lagerkräfte dämpfen ja auch noch zusätzlich.	PP
Das ist jetzt ein Zehntel Pi.	O
Geh unter vier auf jeden Fall. (*meint eine Bereichseinstellung*)	M
Hast du schon eingestellt?	O
Der Wert ist nicht aussagekräftig, aber gut nehmen wir ihn.	M
Das ist hier unsinnig. (*meint den Wert auf Anzeige*)	M
Sollen wir die Fehlerrechnung gleich machen?	M
Frequenz als X-Achse?	M P
Wir müssen die linke und rechte Auslenkung nehmen.	M P
Die Parameter misst man ja ohne Dämpfung.	M PP
Aus der harmonischen Schwingung bestimmt man das Drehmoment.	M PP
Welche Frequenzen haben wir bis jetzt?	P
Klappt's mit der Phase?	P
R, Teta und D haben wir schon nur M_0	M
R ist B minus 2 Teta.	PP
Hast du da ne Rücktaste am Taschenrechner?	X
Das ist einfach zu bestimmen.	M
Du dämpfst das quasi.	P
Stimmt denn die Frequenz jetzt?	P
Wie ist denn die Skala geeicht?	M
Die Lichtschranke misst den Zeitabstand zwischen den Nulldurchgängen.	M P
Was ist 0,1 Hz in Periodendauer?	M P
Wir messen die Parameter für die Kontrolle von Amplitude gegen Frequenz.	M PP
Die Amplitude geht gegen einen konstanten Wert.	M P
10 Sekunden das sind dann 0,1 Hz.	M
Jetzt die Amplitude des Drehmoments.	PP
Besser wär es, ein besseres Übersetzungsverhältnis zu haben (*meint Motor*).	M
Da hat es die Spitzenspannung erreicht.	M
Da müssten wir ne Gerade kriegen.	M
Das bewegt sich doch periodisch.	P
Das geht gar nicht so genau. (*meint das Ablesen vom Pendel*)	M
Das ist aber eine sehr geschätzte Kiste. (*meint das Ablesen vom Pendel*)	M
Das ist ein Einstellungsproblem. (*meint den Versuchsaufbau*)	M
Das ist für hohe und das für niedrige Frequenzen.	P
Das kommt wohl durch die Lagerreibung.	P
Das Problem ist die Ablesung.	O
Das war eine Sekunde.	M
Dem Teil will man eins reinhauen. (*meint Periodendauermesser*)	O
Den Motor brauchen wir noch nicht.	M

Den Nullpunkt hat er doch, wenn du das hier einstellst.	M
Den Sprung ham wir schön hingekriegt!	O
Der Abstand hier ist jetzt unser T.	M P
Der Fehler ist aber ziemlich klein.	M
Die beiden Gewichte sollten wir jetzt dran machen mit der Schraube.	O
Die Messung jetzt machen wir ja harmonisch.	M P
Die Messung startet hier.	M
Die Periodendauer ist nicht amplitudenabhängig.	PP
Die Phase ist doch die Zeit zwischen den beiden Nulldurchgängen.	M PP
Die X-Achse ist gut geworden.	M
Die Zeit ist ja Vielfaches der Periodendauerschwingung.	PP
Erhöhen wir mal die Amplitude.	M P
Gib mir die Werte.	O
Guck mal den Schwinger an.	O
Guter Wert!	M
Hm, ist vielleicht das Gerät kaputt?	O
Da müssen wir dann doch die Amplitude über der Frequenz auftragen und mit der theoretischen Kurve vergleichen, oder?	M PP
Ich dachte den Wirbelstrom merkt man.	P
Ich dachte die Wirbelstrombremse merkt man.	O
Ich fang jetzt mal vorne an zu messen.	M
Ich freu mich auf den Moment wo die Sache springt.	O
Ich geb dir schon mal Power.	O
Ich hab die Bremse jetzt auf 230mA eingestellt.	M
Ich sag mal die Werte reichen jetzt.	M
Ich schreib mal auf was der für eine Einstellung hatte (*meint Messgerät*).	M
Ich will Millimeter, dann teil ich die Meter durch 1000, ne?	M
In was ist die Kondensatorspannung? (*meint Einheit*)	M P
Ist eigentlich egal ob 50 oder 500 MHz.	M
Je größer der Ausschlag desto genauer ist es.	M
Jetzt geben wir mal Vollausschlag und gucken dann.	O
Jetzt nehmen wir mal 20 Werte statt 10.	M
Jetzt sollen wir die Amplitude vom Rad messen.	M P
Jetzt wird Spannung abgegriffen.	P
kgm/s2 ist Newton	M
Klick dahin, dann kannst du zoomen.	O
Können wir das Kabel hier nehmen?	O
Lass uns mal kleinere Schritte machen.	M
Lies ab.	O
Mach mal ein Diagramm.	M
Machen wir eine Messung zu hohen Frequenzen und dann wieder runter.	M P
Man müsste unheimlich lang durchprobieren. (*meint die Messung*)	M
Man trägt hier diese Rechnung ins Diagramm ein.	O
Messen wir erst mal die Gewichte aus.	M
Nein, das geht nicht mit zoomen.	O
Ok, jetzt müssen wir die Amplitude messen.	M P
Reichen drei Werte?	M
Sag mal die Phase ist doch die Zeit zwischen den beiden Pulsen, oder?	M PP

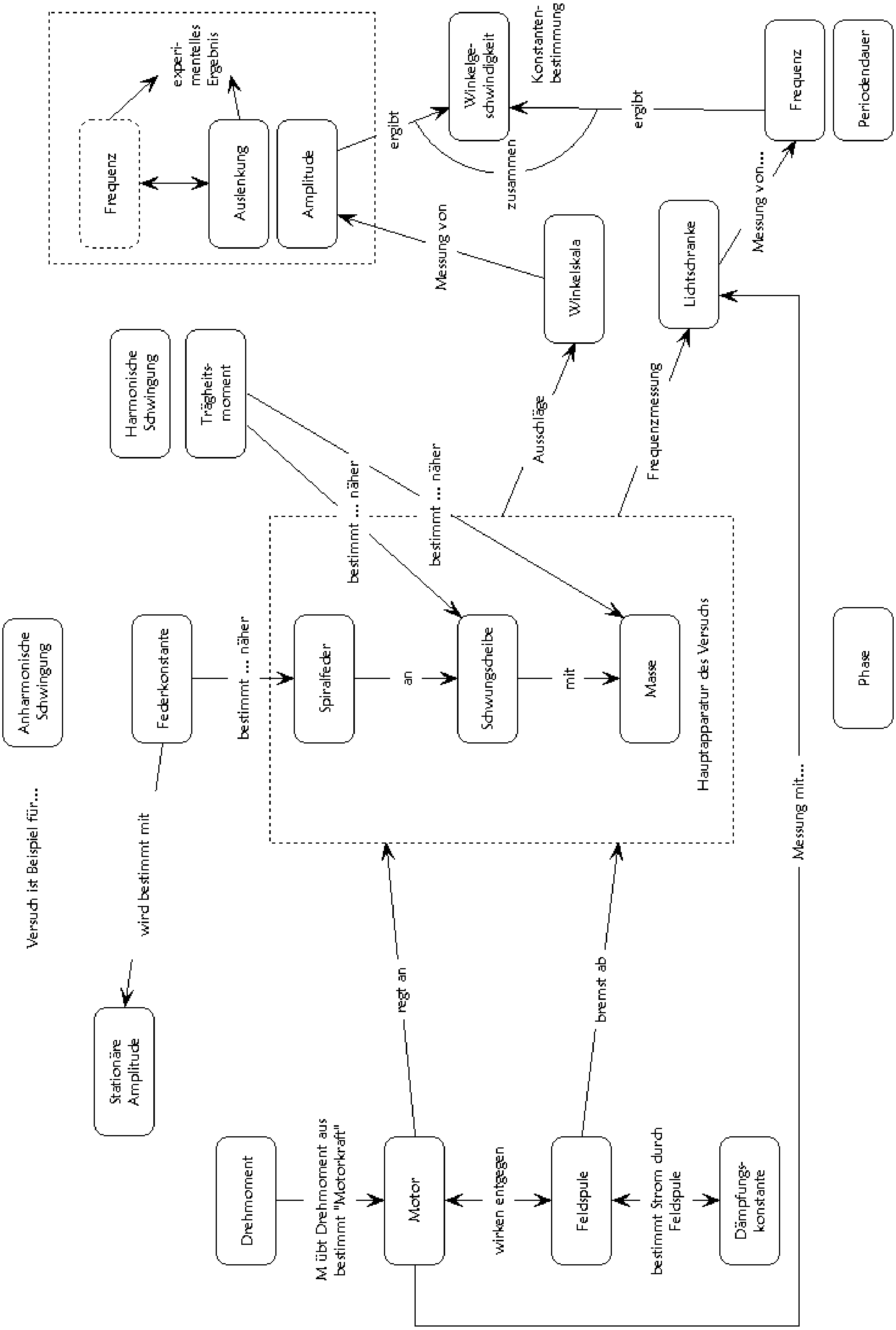
Schreib die letzte Stelle doch mit.	M
Schwarz ist für mich jetzt negativ.	M
Der ist jetzt voll aufgedreht. (*meint den XY-Schreiber*)	O
Über 90 Grad kriegst du negative Werte, das ist logisch.	M
Warum bringt er mir hier MHz?	M
Warum spinnt das Gerät, wenn man die Spannungsquelle einschaltet?	M
Warum tut er das? (*meint den XY-Schreiber*)	O
Erst mal ein paar nehmen und dann gucken wo's am interessantesten ist? (*meint Messwerte*)	M
Gib mal Wechselspannung rein.	M
Wenn ich hier auf *zero* stelle geht das runter und zeichnet uns hier die Achse.	M
Wenn wir jetzt die Frequenz erhöhen bricht die Amplitude zusammen.	M PP
Wie messen wir das?	M
Wie viel Linien passen in 0,005 cm?	M
Wir brauchen vielleicht nen anderen Zeitschritt.	M
Wir haben ein paar mehr Messwerte als bei der anderen Kurve.	M
Wir kriegen dann das Zeitverhalten zwischen dem Punkt und dem nächsten.	P
Wir messen jetzt die Schwingungsdauer, um das Trägheitsmoment zu bestimmen.	M PP
Wir müssen auf die Parallaxe achten.	M
Wir müssen aufpassen dass wir kein Fehler machen und drüber wegschießen.	M
Die Kurve fällt doch exponentiell ab.	M
Wie war das doch bei der Phasenmessung?	M P
Der Erreger läuft dem Schwinger voraus.	PP
Das ist ja ein unsinniges Ergebnis.	M
Huups, das springt ja!	O
Wenn wir die Frequenz hier nehmen ham wir gleich den Sprung.	P
Hier schau, das Teta leitest du ab und ziehst das Phi rüber und dann hast du die Amplitude.	M P
An der Einstellung hab ich nix geändert.	M
Wir versuchen den Versuch mit einem Modell zu simulieren, indem wir die Parameter messen und eingeben.	M P
Das Motormoment bestimmen wir ja dann direkt.	M P
Der Motor regt ja ständig an.	O
Sieht nach ner harmonischen Schwingung aus.	P
Messe die Spannung über der Zeit.	M PP
Holen wir noch einen dazu. (*meint Messwert*)	M
Soll ich das hier jetzt mal mitteln?	M
Eine Sekunde wär ok.	M
Dieses hier kriegt negative Spannung. (*meint Kabel*)	M P
Die Zeit ist ja Vielfaches der Periodendauerschwingung.	PP
Jetzt leite ich das ab und kriege Kosinus Phi.	M
Hast du einen Bleistift?	O
Mach mal ein Diagramm.	O
Soll'n wir ne Zigarettenpause machen?	X

Anhang 4 (zur Begriffsnetzerhebung)

- Anhand der 20 vorgegebenen Begriffe gelegtes Concept Map des Studenten Leo vor Versuch II
- Zugehöriges Interviewtranskript

- Anhand der 20 vorgegebenen Begriffe gelegtes Concept Map des Studenten Leo nach Versuch II
- Zugehöriges Interviewtranskript

GELEGTES CONCEPT MAP DES STUDENTEN LEO VOR VERSUCH II



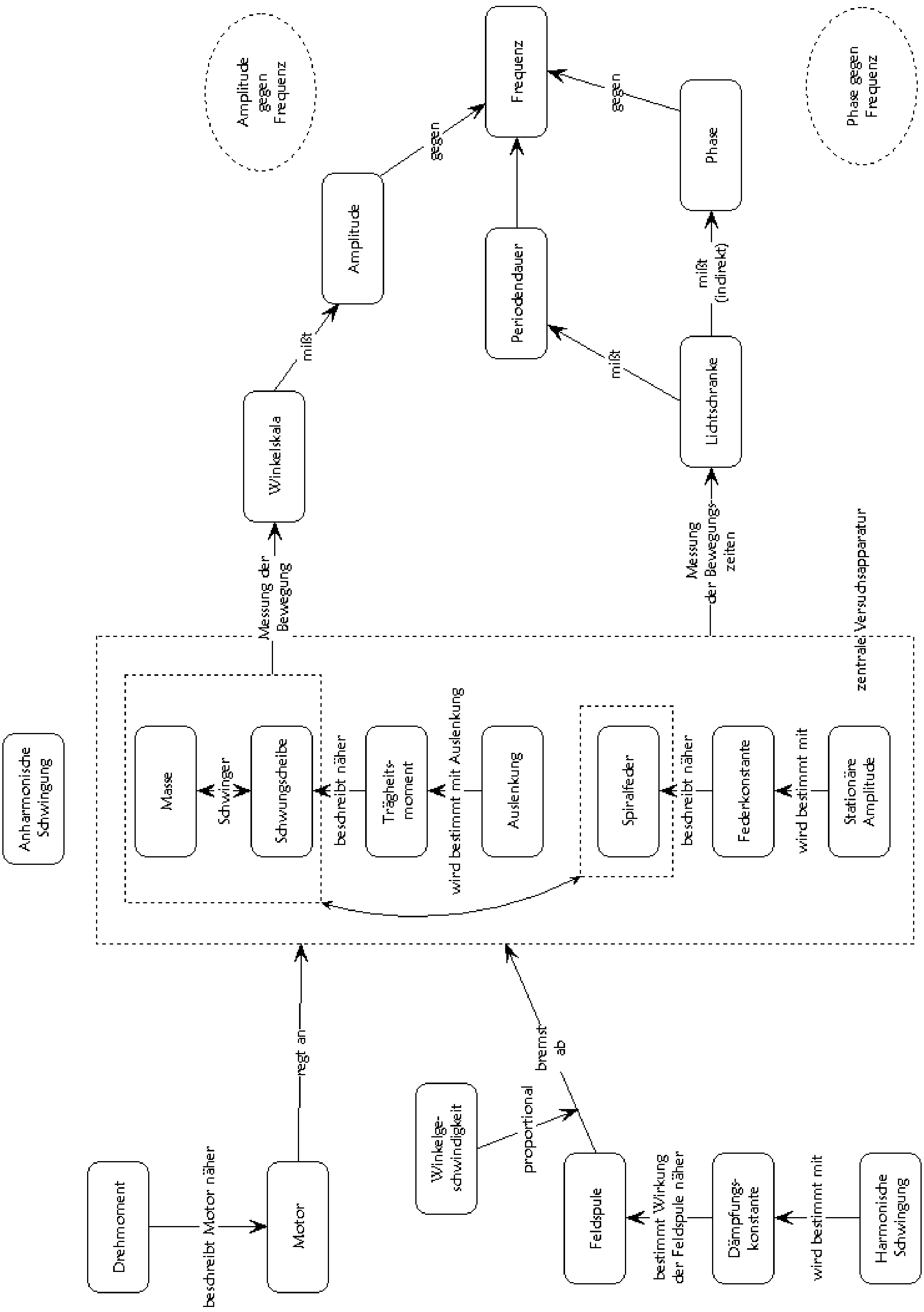
INTERVIEW MIT LEO ZUM VORMAP ZU VERSUCH II

I	LEO
Dann erkläre mal, wie du angefangen hast, was du gelegt hast.	
	Ja also, wie ich angefangen habe: Erst mal die ganzen Sachen sortiert so, dass ich das so einigermaßen in den Griff bekomme. Also einerseits sind da ja so Sachen wie Federkonstante, Dämpfungskonstante, Drehmoment. Die sind jetzt zwar alle auseinander und gut verteilt, aber das sind ja eigentlich z.B. Gerätekonstanten., z.B. so was. Und das habe ich versucht kenntlich zu machen, indem ich das r dazugeschrieben habe, wozu das gehört. Drehmoment ist etwas schwierig dabei, Drehmoment passt eigentlich nicht so richtig, aber Drehmoment ist eigentlich das, was der Motor ausübt, der übt ja dieses Drehmoment auf die Scheibe aus. Insofern ist es ja schon eine Konstante, zumal das definiert ja wie der Motor das anregt, das System. Na ja und dann habe ich halt sortiert, was sind da für Geräte, die da wirklich verwendet werden, also so feste Gegenstände sozusagen. Die habe ich mir halt unterordnungsmäßig sortiert. Einmal das, was halt Hauptapparatur ist, was das Wichtigste ist an diesem Versuch eigentlich, und dann wieder so Geräte, was dann nur Messgeräte sind, also so Messapparaturen oder was halt so dazugehört. Also das hatte ich ja schon beim letzten Versuch schon so als Beiwerk so dazu gesagt. Z.B. hier Motor oder Feldspule, das sind so Sachen, die gehören sicherlich nicht so zentral zum Versuch. Ohne die funktioniert es zwar nicht, aber ich könnte genauso gut auch selbst im richtigen Takt das Ding da anregen oder ich könnte das auch immer zwischen den Fingern laufen lassen, damit das immer schön gebremst wird. Und genau so wie bei Winkelskala, da könnte ich auch genau hingucken, um das rauszukriegen. Oder Lichtschranke, das kann man auch genauso gut mit einer Uhr und von Hand machen.
Sag mal was zu deinen Verbindungen. Was mir dann fehlt, frage ich nach.	
	Da fange ich am besten mal in der Mitte an. Das sind halt einfach nur die Geräte : Spiralfeder an Schwungscheibe an Masse. Da gibt's also mehr nicht zu sagen. Das definiert nur, wie die Apparatur konstruiert ist. Zu den jeweiligen Geräten oder Sachen die ich habe dann halt die Konstanten, die dazugehören. Das sind immer nur „bestimmt" *(das steht unter dem Pfeil)* und dann Schwungscheibe und Masse, da habe ich immer nur Punkte gemacht.
Was steht da *(Pfeil von T zu Masse)*?	
	Einfach wo der Pfeil hinzeigt da*..?..*ich hoffe, das ist richtig
Ach so, weil du das auf beides beziehst.	
	Weil sich das auf beides bezieht. Also bestimmt Schwungscheibe und Masse, ja das ist ja diese Konstruktion. Dann Federkonstante bestimmt halt Spiralfeder.
Kannst du das jeweils noch genauer erklären?	
	Was heißt jetzt genauer?
Ach so, nee, nee. Mach weiter, ich habe was verwechselt.	
	Ist das nicht so ganz klar gewesen?
Nee.	
	Dämpfungskonstante, das ist ja das, was die Feldspule, also bestimmt ja den Strom durch die Feldspule eigentlich...oder..Naja, die Konstante ist zwar eine Konstante der Feldspule, aber im Prinzip bestimmt ja die Feldspule die Dämpfungskonstante und die Dämpfungskonstante bestimmt den Strom durch die Feldspule. Das ist einfach eine Dämpfung, die ist proportional zu $\varphi'(t)$, also das ist halt eine rücktreibende Kraft proportional zu $\varphi'(t)$. Das wird ja folgendermaßen gemacht: Da ist ja dieser Ring, ich schätze der ist aus Metall, und dadurch, dass man jetzt einen Strom durch die Feldspule schickt, induziert man ja was in diesem Metallring und dann entsteht halt ein Gegenstrom, und die stoßen sich..- also ein Gegenmagnetfeld auch und das stößt sich

<table>
<tr><td></td><td>halt ab. Und je nachdem wie ich diesen Strom durch die Feldspule einregel, also wenn der stärker wird, werden natürlich auch die Bremseffekte stärker. Ich glaube da entsteht so Wirbelstrom. Bei Eisenbahnen gibt es ja auch so was glaube ich. Und Drehmoment ist ja das, was der Motor ausübt, sozusagen die Kraft ist eine Messgröße des Motors. Und der Motor übt ja das Drehmoment aus auf dieses System und bestimmt die Motorkraft, die ist ja irgendwie $\sin \omega t$. Das Drehmoment ist also eine sinusförmige Anregung.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Was meinst du hiermit? (zwischen Motor und Feldspule)</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja, Motor und Feldspule wirken ja entgegen, d.h. der Motor regt das System immer an und die Feldspule bremst es ab. Das ist ja immer, hm, Wechselspiel kann man nicht sagen, aber...</td></tr>
<tr><td colspan="2">Was genau hier wird abgebremst, du meinst jetzt wieder den ganzen Kasten? (Spiralfeder, Schwungscheibe, Masse)</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja, das System eigentlich. Wechselspiel, worauf ich hinauswollte, kann man eigentlich nicht sagen. Also es ist nicht so was wie ich es beim Kondensator hatte, also Ladung/Entladung. So gehören die sicherlich nicht zusammen, aber es ist halt so: Der Motor ist das Element, das immer Energie zuführt und Feldspule ist ja das Teil, wodurch immer Energie abgezogen wird, halt durch das abbremsen. Ja, dann kommt hier wieder etwas raus aus dem System, das sind einmal die Ausschläge, ablesbar auf der Winkelskala und dann die Frequenzen, ablesbar gemacht mit der Lichtschranke oder eigentlich mit einem Zählgerät oder einer Uhr. Und dann hier diese weiteren Pfeile, also Lichtschranke misst ja Frequenz oder Periodendauer, das ist ja im Prinzip dasselbe. Und die Winkelskala, damit wird ja die Amplitude bzw. die Auslenkung gemessen.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Warum liegen die so zusammen?</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja, ob man Auslenkung oder Amplitude sagt, ich finde da ist das eine das Fachwort vom anderen. Na ja, und im zweiten Kasten ist halt das experimentelle Messergebnis, d.h. ich habe da noch Frequenz hinzugefügt, denn man misst ja Frequenz gegen Amplitude. Und da habe ich ganz grob skizziert, wie das aussehen wird, wahrscheinlich. Ja, und dann komme ich jetzt zu den beiden Begriffen, die mir etwas Probleme bereitet haben, also Phase und Winkelgeschwindigkeit. Also Phase ergibt sich ja aus Frequenz, also eigentlich aus der Frequenz der Anregung und der Frequenz des Systems bzw. Bewegung des Systems und da der Unterschied, das ist ja die Phase. Deswegen habe ich hier auch noch mal die Motormessung, obwohl das eigentlich ein bisschen schlecht ist, sehe ich gerade, weil ja Phase nicht soviel mit Frequenz zu tun hat. Also eigentlich ist das halt die Verschiebung zwischen Motor, also der Kraft, die der Motor halt ausübt, und das, was das System dann zeigt, das ist dann die Phasenverschiebung, die dabei rumkommt. Und die Winkelgeschwindigkeit...</td></tr>
<tr><td colspan="2">Bleib noch mal hier: Wie hast du das gemeint mit der Phasenbeziehung zur Frequenz oder Periodendauer?</td></tr>
<tr><td></td><td>Die besteht eigentlich überhaupt nicht, das habe ich ja gerade festgestellt. Ist etwas ungünstig, dass es dort ist (nimmt Phase weg und radiert Verbindung zu Frequenz).</td></tr>
<tr><td colspan="2">Wo hättest du die dann hingezeichnet?</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja, es war ja die Überlegung halt, dass Phasenverschiebung, also das ist ja die Verschiebung sozusagen der Amplitude, die einmal der Motor ausübt und die dann das System zeigt. Eigentlich müsste die (Karte) dann, also wo sie jetzt genau liegt, ist eigentlich egal, aber da müssen halt Pfeile gemacht werden. Einmal von hier (Motor) nach hier (Phase) und einmal von hier (Phase) nach hier (Winkelskala), weil die Ausschläge, das ergibt halt die Phase.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Jetzt zur Winkelgeschwindigkeit.</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja, jetzt zur Winkelgeschwindigkeit, die ergibt sich ja, wenn man die Amplitude kennt und die Frequenz, weil je nachdem wie schnell das geht, ergibt sich ja die Winkelgeschwindigkeit und wie gesagt. Wobei, die Amplitude ist ja irgendwas vom Winkel, und die Winkelgeschwindigkeit ist so was wie $\varphi'(t)$, also einfach nur die Ableitung der Amplitude nach der Zeit.</td></tr>
</table>

Und was hat die Frequenz damit zu tun?	
	Die Periodendauer, ja je schneller die Frequenz, desto schneller ist auch die Winkelgeschwindigkeit. Das ist eigentlich die Änderung der Amplitude innerhalb der Zeit, aber dazu muss ich ja Amplitude und Zeit kennen, um beides dann in Abhängigkeit setzen zu können. Aber da hatte ich ja das Problem: Also Winkelgeschwindigkeit, ich denke das gehört eigentlich hierzu *(harmonische Schwingung/Trägheitsmoment)* zur Bestimmung des Trägheitsmomentes, weil da ist es ja so, da regt man das System ja harmonisch ohne Dämpfung an, und nur so kann man ja das Trägheitsmoment ermitteln, messtechnisch.
Was bedeutet der Rundpfeil? *(Von der Verbindung von Amplitude und Winkelgeschwindigkeit zur Verbindung von Winkelgeschwindigkeit und Frequenz)*	
	Der bedeutet, dass die beiden zusammengehören, weil mit einem alleine kann man ja nichts anfangen. Wenn ich jetzt nur die Amplitude hätte und keine Zeitachseneichung, könnte ich auch nie eine Winkelgeschwindigkeit herausbekommen.
Also die beiden gehören nur in Hinblick auf die Winkelgeschwindigkeit zusammen?	
	Ja.
Und was bedeutet „experimentelles Ergebnis"?	
	Ja, das ist ja das, was eigentlich gefordert ist, dass man hinterher eine Kurve hat. Amplitude gegen Frequenz aufgetragen oder gegen Winkelgeschwindigkeit aufgetragen. Im Buch, da sind ja diese Skizzen, wie man halt dieses theoretische Ergebnis voraussagen kann, aber physikalisch passiert ja etwas anderes. Ich erwarte also bei dem einen, dass ,wenn man immer weiter hochfährt, die Winkelgeschwindigkeit immer mitgeht und dann ganz plötzlich - also die Amplitude, Unsinn, dass also die Amplitude erst mit hochgeht mit wachsender Winkelgeschwindigkeit. Also ich glaube, dass das halt passiert bei genau Winkelgeschwindigkeit Null. Das kann man sich ja noch so überlegen, indem man sagt, die Dämpfung ist dann so groß, da regt der Motor dann zwar etwas an aber durch die Dämpfung wird das sofort kompensiert und im Prinzip tut sich gar nichts. Je höher die Frequenz ist, desto mehr geht das System auch mit, aber irgendwann kommt es dann nicht mehr mit und dann bricht die Amplitude zusammen und danach geht es dann wieder aufwärts. Und wenn man das ganze rückwärts abfährt, also die Kurve, dann liegt der Sprung einfach nur an einer anderen Stelle, weil diese Stelle, wo das System nicht mehr mitkommt, die ist dann halt anders, ob ich jetzt von oben oder von unten komme.
Warum liegen die beiden hier so eng zusammen? *(Harm. Schwingung und Trägheitsmoment)*	
	Das Trägheitsmoment wird ja durch eine harmonische Schwingung ermittelt.
Was ist die stationäre Amplitude bei dir?	
	Stationäre Amplitude, da steht Federkonstante wird bestimmt mit.. das ist ja das, womit man erst mal rauskriegt, wie die Federkonstante ist, da soll man ja das Rad mit Massen belasten und soll das dann stationär auslenken und soll einfach diese stationäre Amplitude dann messen. Wenn man dann die Abhängigkeit von den Massen untersucht, kann man die Federkonstante rauskriegen.
Und da*..?..*Messung mit Lichtschranke, oder was misst du?	
	Ja, man misst ja auch die Frequenz des Motors also wie der anregt. Weil das muss ja nicht notwendigerweise so sein bei dem System, dass das System mit der gleichen Frequenz antwortet, mit der man auch anregt.
Was bedeutet eigentlich der Kasten hier?	
	Als ich das Diagram gemalt habe, da ist mir aufgefallen, dass dieses hier rechts stand. Und letztes Mal hatte ich so eine Anordnung von links nach rechts zum Ergebnis und den Eindruck wollte ich nicht entstehen lassen, deshalb habe ich das noch mal extra eingekästelt.

GELEGTES CONCEPT MAP DES STUDENTEN LEO NACH VERSUCH II



INTERVIEW MIT LEO ZUM NACHMAP ZU VERSUCH II

I	LEO
Erklär' mal.	
	Vom Ordnungsprinzip her versuche ich eigentlich... also eigentlich habe ich die gleichen Begriffe einander zugeordnet, also was so zusammengehört und welche Konstante oder welcher Begriff dieses andere Versuchsteil genauer bestimmt. Also na ja, Drehmoment ist natürlich keine Konstante. In dem Fall ist dann also Masse, Schwungscheibe, o.k. das gehört zusammen, das gehört halt zum Schwinger. Und dann Trägheitsmoment, das bestimmt man ja genauer durch die Auslenkung, dieses Trägheitsmoment, bei einer harmonischen Schwingung.
Wie?	
	Also ich glaube das war ja der Versuchsteil da wurde ja diese Scheibe angeregt durch den Motor und dann hat man die Amplitude gemessen, also irgendwie Auslenkung und dann konnte man dann irgendwie, wenn man die Federkonstante vorher schon ausgerechnet hat, das Drehmoment des Motors bestimmen. Ich hoffe ich vertue mich da nicht, ich meine aber das ist richtig.
Redest du vom Drehmoment oder vom Trägheitsmoment	
	Vom Drehmoment...Ach so, Unsinn!... ne, eigentlich vom Drehmoment.
Wir waren doch beim Trägheitsmoment.	
	Das Trägheitsmoment haben wir glaube ich irgendwie über eine harmonische Schwingung und über die Periodendauer gemessen.
Wie meinst du das mit der Auslenkung dann?	
	Ich glaube das ist da nicht so ganz richtig. Also das müsste wohl eigentlich mehr zum Drehmoment, wenn ich das so sehe.
Gut, dann mach mal weiter.	
	Spiralfeder, Federkonstante, das wurde ja bestimmt durch die stationäre Amplitude, dass wir da so Gewichte drangepackt haben, dass es dann so eine stationäre Auslenkung gegeben hat, so hat man ja diese Federkonstante bestimmt. Dämpfungskonstante, die Dämpfungskonstante bestimmt die Wirkung der Feldspule näher. Das ist ja die Bremswirkung des Systems. Also es ist jetzt zwar eine Feldspule verwendet worden, aber das ist ja nicht spezifisch, also wir hätten ja auch ein Gummi nehmen können, das da irgendwie dran angebracht wäre. Also die Bestimmung der Dämpfungskonstanten ist ja unabhängig davon, ob ich eine Feldspule oder irgend etwas anderes wähle zum bremsen, solange das nur dieselben physikalischen Bremseigenschaften hat. Und das wird halt bestimmt auch durch eine harmonische Schwingung. Und da macht man ja erst so eine Anfangsauslenkung und misst dann immer wieder wenn es so hin und herpendelt die Amplitude nach den Zyklen und da kriegt man dann so eine Kurve, das hatten wir ja auch gestern, so eine Kurve Zeit gegen Amplitude bzw. man nimmt ja immer nur die Maximalamplituden eigentlich, weil dazwischen das wären dann immer so Sinusfunktionen oder Winkelfunktionen. Und durch eine Ausgleichsrechnung, also da es ja einfach nur eine ln-Funktion oder eine e-Funktion ist,*..?...*kriegt man dann eine Gerade und die Steigung dieser Geraden ist dann die Dämpfungskonstante mal noch so ein paar Faktoren, ist ja proportional zur Dämpfungskonstanten.
Kannst du hierzu noch etwas genaueres sagen? *(Feldspule)*	

<table>
<tr><td></td><td>Ja, ich glaube dieser Ring war leitend, dadurch war das ja so wie eine Wirbelstrombremse, also da steht ja auch Wirbelstrombremse, und wenn ich das richtig verstanden habe, wird da so ein Strom induziert in dieser Scheibe - ist das eine Kupferscheibe? Auf jeden Fall Kupfer ist ja so selber schon mal nicht magnetisch, aber wenn man dann einen schönen Strom induziert, dann wird das ja sozusagen magnetisch wie so ein Elektromagnet, da baut sich dann ja so ein Feld auf, das immer der Wirkung entgegen geht und dann bremst das einfach nur ab. Ich glaube das ist einfach eine Bremsung proportional zu $\varphi'(t)$. So muss das sein, damit es halt in diese Schwingungsdifferentialgleichung reinpasst. Und dann kriegt man ja so eine Differentialgleichung wie irgendetwas $*\varphi''(t)$ + Dämpfung $*\varphi'(t)$ und dann mal irgendwas φ und φ ist gleich Null und das ist dann so eine gedämpfte harmonische Schwingung, die wir untersucht haben, um die Dämpfungskonstante herauszubekommen.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Was meinst du jetzt mit diesem großen Kasten noch mal?</td></tr>
<tr><td></td><td>Das ist die zentrale Versuchsapparatur, darum geht's eigentlich, unter der wird gemessen, an der werden auch alle Konstanten bestimmt, ja nicht alle Konstanten, aber an der werden alle Messungen vorgenommen.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Wenn du jetzt den Kasten ersetzen wolltest durch Verbindungen zwischen den Begriffen, die da drin liegen, welche würdest du dann verbinden?</td></tr>
<tr><td></td><td>Dann würde ich diese beiden miteinander verbinden (Schwungscheibe und Spiralfeder). Da könnte man noch so was dranschreiben wie „Schwungscheibe bewegt Spiralfeder“ oder umgedreht.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Und die Masse, wie gehört die dazu? Also das (der Pfeil von Spiralfeder) geht zur Schwungscheibe?</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja, das geht dann zu diesem Masse/Schwungscheibe-Kästchen. Masse und Schwungscheibe gehören ja eigentlich zusammen, die werden ja nur bei der Konstantenbestimmung mal getrennt. Ja, und dann halt zu diesem Auswertungsteil: Einmal diese Messung der Bewegung, das wird ja immer mit der Winkelskala gemacht, also daran stellt man ja immer die ganzen Amplituden fest, also das kommt da ja auch raus - Amplitude eigentlich, womit man das dann umrechnet. Und mit der Lichtschranke werden ja die Messungen der Bewegungszeiten, also da wird ja einmal die Periodendauer bestimmt also einmal der Anregungsfrequenz und einmal misst man ja indirekt die Phasenverschiebung.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Was heißt indirekt?</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja indirekt heißt, ich meine direkt kann man die Phasenverschiebung ja schlecht messen dabei. Ich meine man bekommt ja so ein Δt heraus, was halt diese Phasenverschiebung ausmacht, und wenn man das dann teilt durch die Gesamtperiodendauer, dann bekommt man ja die Phase heraus. Allerdings bezogen auf 1 und wenn man dann mit 2π multipliziert, dann bezogen auf 2π.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Was sind diese „Bewegungszeiten“ hier?</td></tr>
<tr><td></td><td>Ja Bewegungszeiten sind halt wie sich das System bewegt. Also einmal ist es halt diese Periodendauer und einmal ist es die Phase ist damit gemeint. Und dann hat man halt Amplitude, Periodendauer und Phase gemessen und trägt das dann gegeneinander auf. Und dann kommt dann einmal so was raus (macht Zeichnung). Also ich habe jetzt immer hinlaufend und rücklaufend und Theorie in eins gemalt. Hinlaufend ..?.. geht er ja genau bis zu dieser Tangente hier und dann geht's abwärts und springt hier runter und wenn man von oben kommend die Frequenzen abfährt, dann geht er genau bis zu dieser Tangente und springt dann hier nach oben und geht dann runter. Das passte eigentlich auch ganz gut hinterher. Und mit der Phase da ist es so, da geht, wenn man hochgeht, die Phase glaube ich bis $\pi/2$ springt dann schlagartig hoch. Und wenn sie von oben kommt, dann bleibt sie relativ konstant um π verschoben und springt dann sehr schnell sehr tief runter… Ich weiß nicht - soll das überhaupt so wie hier aussehen? Das ist jedenfalls das, was wir rausgekriegt haben.</td></tr>
<tr><td colspan="2">..?...Ja, das stimmt schon so.</td></tr>
<tr><td></td><td>Und Winkelgeschwindigkeit wusste ich nichts mit anzufangen.</td></tr>
</table>

Warum nicht?	
	Ja, weiß ich nicht. Wusste ich nicht, wo der zu gehört. Also o.k., bei Bremsung hätte man den noch dazu schreiben können. So, dann machen wir den hier noch irgendwo hin *(legt Winkelgeschwindigkeit über Verbindungslinie Feldspule-Kasten (s.o.) und schreibt „proportional" dran)*.
Und anharmonische Schwingung?	
	Ist halt wieder das Thema des Versuchs, als Überschrift.
Ist aber losgelöst, du siehst keine Verbindung zu irgendwo hin?	
	Letztes Mal habe ich ja so eine Klammer hier um das gesamte Map gemacht, das hätte ich jetzt wieder machen können. Das ist halt einfach das Thema des Versuchs, die Überschrift.

Anhang 5 (zur Begriffsnetzanalyse)

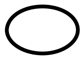
- Erläuterungen zur Referenznetzstruktur
- Referenznetz zu Versuch II (traditionell)
- Vormap des Studenten Leo
- Nachmap des Studenten Leo

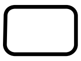
ERLÄUTERUNGEN ZUR REFERENZNETZSTRUKTUR

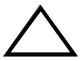
Zum Referenznetz:

- Erklärung der benutzten Symbole:

  (Kleine Symbole im Referenznetz, und klein beschriftete Verbindungen, beziehen sich auf das Vorgehen bei der Messung einer physikalischen Größe.)

   physikalisches Konzept/Größe  mathematische Formel/Wert

   Rechen-/Messverfahren  Objekt

   von einer Vpn nicht vollständig wiedergegebene Formel

- Die Zuordnung der Verbindungen zu den Kategorien (Farben) ist in Kapitel 10 beschrieben. Dabei gibt es zwei Ausnahmen:
  - Die physikalischen Konzepte, die zur Wirkung der Feldspule auf die Schwungscheibe gehören (Feldstrom, Magnetfeld, Wirbelströme, etc.; *rechts unten im Referenznetz*) werden wie Messverfahren behandelt, da sie nicht direkt zur physikalischen Theorie des Experiments gehören.
  - Der Begriff Phasendifferenz ist mit den Objekten Motor und Schwungscheibe verbunden (*rechts oben im Referenznetz*). Die Verbindungen werden aber als physikalischer Zusammenhang behandelt.
- Von mathematischen Formeln bzw. Zahlenwerten gehen so viele *abhängig*-Verbindungen (PP; abstrakte kognitive Leistung; rot) ab wie es Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen gibt.
  - Beispiele: Von $M = -D\varphi$ gehen drei *abhängig*-Verbindungen ab (Federdrehmoment, Federkonstante, Auslenkung). Von $f = 1/T$ geht eine *abhängig*-Verbindung ab (Frequenz, Periodendauer). Der Komplex „π *gilt für* Phase *bei* unendlicher Frequenz" (*halblinks oben im Referenznetz*) enthält eine rote (PP) Verbindung.

Zu den Begriffsnetzen des Studenten Leo:

- Nennt der Student einen Zusammenhang zwischen zwei Begriffen, die mehr als eine Verbindung weit auseinander liegen, so werden die dazwischen liegenden Begriffe übersprungen (siehe Kapitel 10). Die entstehende Verbindung wird dann wie in Kapitel 10 beschrieben kategorisiert.
  - Beispiel: „Auslenkung *der* Schwungscheibe" (*rechts im Referenznetz*): „Auslenkung *ist* maximale Amplitude" wird vom Studenten Leo nicht genannt und daher übersprungen. Die Verbindung „Auslenkung *der* Schwungscheibe" weist einem Objekt eine Eigenschaft zu und wird mit P kategorisiert (deskriptive kognitive Leistung; gelb).
- Nennt der Student eine Formel nur teilweise, so wird sie in seinem Begriffsnetz als Dreieck dargestellt. Es werden dann 0,5 Verbindungen weniger gezählt.
  - Beispiel: $M(t) = M_0 \sin\omega t$ (*mittig im Referenznetz*): Der Student nennt: „Das Motormoment ist sinusförmig"; gezählt wird nur halbe Verbindung zwischen der Formel und Motordrehmoment.
- Verbindungen aus dem Vormap sind auch im Nachmap enthalten.